

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного обслуговування та відновлення головки блоку циліндрів двигуна audi A5 з дослідженням довговічності головки блоку циліндрів

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-62

спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Олександр МЕЛЬНИЧУК (ім'я та прізвище)
Керівник	(підпис)	Іван ГЕВКО (ім'я та прізвище)
Нормоконтроль	(підпис)	Михайло ЛЕВКОВИЧ (ім'я та прізвище)
Зав. кафедри	(підпис)	Олег ЦЬОНЬ (ім'я та прізвище)
Рецензент	(підпис)	(ім'я та прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«14» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Мельничуку Олександру Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного обслуговування та відновлення головки блоку циліндрів двигуна audi A5 з дослідженням довговічності головки блоку циліндрів

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-972

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП відновлення головки блоку циліндрів двигуна audi A5

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Розріз головки циліндрів по випускному клапану автомобіля – 1А1.

Пристосування для зняття клапанних пружин – 1А1.

Карта дефектів – 1А1.

Патентно-інформаційний пошук – 1А1.

Технологічний процес відновлення головки блоку циліндрів – 1А1.

Пристосування для фрезерування і шліфування бойків коромисел – 1А1.

Пристосування для перевірки зазору між стержнем клапана і втулкою – 1А1.

Результати наукових досліджень – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, ім'я та прізвище консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	18.11.25	
2	Технологічний розділ	25.11.25	
3	Конструкторський розділ	02.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	09.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.12.25	
6	Оформлення графічної частини	16.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)

Олександр МЕЛЬНИЧУК

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Іван ГЕВКО

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного обслуговування та відновлення головки блоку циліндрів двигуна audi A5 з дослідженням довговічності головки блоку циліндрів».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 68 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: довговічність, ресурс двигуна, дефектація, зношування, теплонапруженість.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Умови функціонування деталі та характерні дефекти.....	7
1.2 Вимоги до дефектації та методи виявлення пошкоджень.....	9
1.3 Варіанти маршрутів відновлення деталі.....	11
1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	15
2.1 Обґрунтування вибору маршруту відновлення та формування маршрутної карти.....	15
2.2 Визначення режимів виконання технологічних операцій та нормування часу.....	17
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	31
3.1 Розроблення пристрою для демонтажу головки блока циліндрів двигуна..	31
3.2 Розроблення пристрою для розбирання та складання головки циліндрів..	35
3.3 Будова та принцип роботи пристрою для стискання клапанних пружин і вилучення сухарів.....	38
3.4 Розрахунок елементів пристрою на міцність.....	39
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	45
4.1 Матеріал і модель механічної поведінки.....	45
4.2 Підходи до прогнозування термомеханічного ресурсу.....	47
4.3 Скінченно-елементна модель та властивості матеріалів.....	49
4.4 Аналіз теплового стану.....	50
4.5 Дослідження напружено-деформованого стану.....	52
4.6 Оцінювання довговічності за умов малоциклової втоми.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
5.1 Аналіз виробничого травматизму.....	59
5.2 Способи захисту населення в надзвичайних ситуаціях.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67

ВСТУП

Сучасний розвиток автомобільної промисловості характеризується постійним ускладненням конструкцій двигунів внутрішнього згоряння, підвищенням їх питомої потужності, паливної економічності та екологічних показників. За таких умов істотно зростають теплові та механічні навантаження на основні елементи двигуна, серед яких особливе місце посідає головка блоку циліндрів. Вона забезпечує герметичність камер згоряння, формування газорозподільного процесу, відведення тепла та розміщення вузлів паливоподачі й запалювання, а отже значною мірою визначає надійність і довговічність усього силового агрегату.

В процесі експлуатації автомобілів головка блоку циліндрів зазнає інтенсивного впливу змінних температурних полів, циклічних навантажень і зношування контактних поверхонь, що з часом призводить до появи тріщин, деформацій, порушення геометрії привалювальних площин, зносу сідел і направляючих втулок клапанів. Для сучасних легкових автомобілів преміум-класу, зокрема Audi A5, вартість заміни головки блоку циліндрів є значною, що зумовлює актуальність розроблення ефективних технологій технічного обслуговування та відновлення цієї деталі з метою продовження її ресурсу та зниження експлуатаційних витрат.

У зв'язку з цим важливого значення набуває проектування раціональних процесів технічного обслуговування і відновлення головки блоку циліндрів, які базуються на сучасних методах дефектації, механічної та термічної обробки, а також на науково обґрунтованому оцінюванні залишкової довговічності деталі після ремонту. Дослідження довговічності головки блоку циліндрів дозволяє встановити закономірності зміни її технічного стану під впливом експлуатаційних факторів і відновлювальних технологій, що є необхідним для підвищення надійності двигуна в цілому.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Умови функціонування деталі та характерні дефекти

Головка блока циліндрів є одним із ключових конструктивних елементів двигуна внутрішнього згоряння та виконує комплекс взаємопов'язаних функцій. У її тілі сформовані камери згоряння, розміщені основні складові газорозподільного механізму, а в поєднанні з блоком циліндрів вона утворює замкнену порожнину водяної сорочки, яка забезпечує відведення надлишкового тепла від найбільш нагрітих зон двигуна.

Експлуатаційні та економічні характеристики двигуна, зокрема ефективна потужність, величина крутного моменту, паливна економічність і токсичність відпрацьованих газів, значною мірою визначаються якістю перебігу робочих процесів у камері згоряння. У зв'язку з цим елементи головки блока циліндрів, що безпосередньо формують межі камери згоряння, – напрямні втулки, сидла та клапани – працюють в умовах інтенсивного механічного, теплового та газодинамічного навантаження. Сукупна дія високих температур, тиску газів і ударних контактів зумовлює прискорений знос зазначених деталей та підвищену ймовірність виникнення дефектів.

Сидла клапанів, як найбільш навантажені елементи вузла, виготовляються зі спеціальних високоміцних чавунів або легованих сплавів, що забезпечують необхідну зносостійкість і опір ударним навантаженням у процесі багаторазового відкривання та закривання клапанів. Після запресування сидел у корпус головки блока циліндрів виконується механічна обробка їх робочих фасок безпосередньо в зібраному стані. Такий технологічний підхід дозволяє забезпечити високу точність співвісності фасок сидел із отворами напрямних втулок клапанів, що є необхідною умовою герметичності камери згоряння та стабільної роботи газорозподільного механізму.

Головка блока циліндрів двигуна Audi A5 виготовляється з ливарного алюмінієвого сплаву типу силумін марки АЛ-4, який поєднує порівняно невелику масу з достатньою теплопровідністю та корозійною стійкістю. Твердість матеріалу деталі перебуває в межах 50–70 НВ, що відповідає вимогам

до елементів, які працюють в умовах інтенсивного теплового навантаження та циклічних механічних впливів. За сукупністю конструктивно-технологічних ознак головка блока циліндрів належить до корпусних деталей першого класу та відноситься до першої категорії складності, що зумовлено її геометричною розвиненістю та наявністю значної кількості функціональних поверхонь.

У процесі експлуатації головки блока циліндрів можливе виникнення ряду характерних дефектів, обумовлених як умовами роботи двигуна, так і порушенням технологічних або експлуатаційних вимог. До найбільш поширених несправностей належать:

Утворення тріщин у корпусі головки блока, що зазвичай виникає внаслідок критичного перегріву двигуна, тривалої роботи в режимах підвищеного теплового навантаження, а також порушення регламенту або моментів затягування кріпильних болтів під час монтажу головки блока циліндрів.

Збільшення зазорів у напрямних втулках клапанів, яке може бути спричинене значним напрацюванням двигуна, використанням мастильних матеріалів низької якості або систематичним перегрівом силового агрегату.

Зношування посадочних отворів під напрямні втулки клапанів у корпусі головки, що призводить до порушення геометричної точності вузла та погіршення умов роботи газорозподільного механізму.

Пошкодження або надмірний знос сідел клапанів, які найчастіше є наслідком застосування палива з незадовільними характеристиками, а також некоректного встановлення кутів випередження запалювання або впорскування палива.

Порушення площинності поверхні прилягання головки до блока циліндрів, що зазвичай зумовлюється тривалою експлуатацією двигуна, локальними перегрівами або використанням охолоджувальної рідини, яка не відповідає вимогам виробника.

Зношування або руйнування різьбових з'єднань у отворах головки блока, призначених для кріплення допоміжних елементів, свічок або форсунок. Такий дефект може виникати через перевищення допустимих моментів затягування, порушення технології монтажу або внаслідок теплової деформації матеріалу під час перегріву двигуна.

Сукупність зазначених дефектів визначає необхідність регулярного контролю технічного стану головки блока циліндрів і своєчасного виконання ремонтно-відновлювальних робіт з метою забезпечення надійної та довговічної роботи двигуна.

1.2 Вимоги до дефектації та методи виявлення пошкоджень

Нормативні вимоги до проведення дефектації головки блока циліндрів, а також перелік рекомендованих методів контролю її технічного стану систематизовано в таблиці 1.1

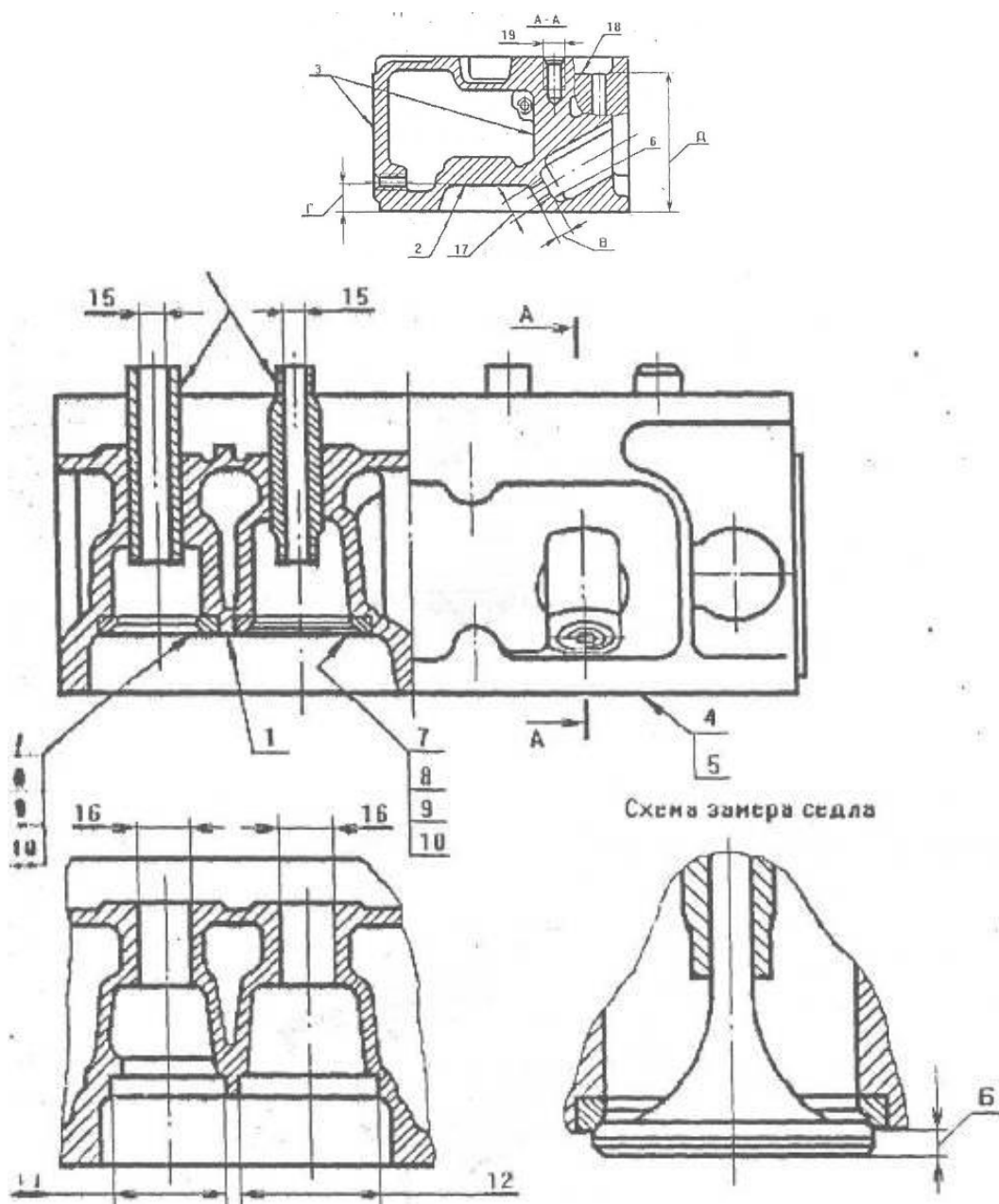


Рис. 1.1. Дефекти головки блока циліндрів.

Таблиця 1.1. Карта дефектації головки блоку циліндрів двигуна audi A5.

Див. рисунок 1.1			Головка блоку циліндрів двигуна audi A5		
			Матеріал: АЛ-4		Твердість: НВ 50-70
Позначення на ескізі	Найменування дефектів	Спосіб встановлення та вимірювальні інструменти	Розміри, мм		Висновок і можливі способи відновлення
			За робочим кресленням	Допустимий без ремонту	
1	Руйнування посадочних місць під сідло клапанів і перемичок між ними	Огляд	—	—	Бракувати
2	Пробоїни, прогар або тріщини на стінках камер згоряння	Огляд, випробування на герметичність тиском 0,25-0,30 Мпа (2,5-3,0 кгс/см ²)	—	—	Бракувати
3	Тріщини на сорочці охолодження	Огляд, випробування на герметичність тиском 0,25-0,30 Мпа (2,5-3,0 кгс/см ²)	—	—	Аргоно-дугове зварювання. Ацетилено-газове зварювання. Електродугове зварювання.
4, 5	Викривлення поверхні прилягання до блоку циліндрів або корозія поверхні	Лінійка ЩП-2-630, щуп 0,4 мм, пристосування для вимірювання глибини камери згоряння	0,1 Розмір Г 19,25±0,26 мм.	0,4	Фрезерувати до усунення дефекту. Відновити ел.-дуговою металізацією при розмірі Г менш 18,5мм.
6	Нерівномірний знос поверхонь під свічки	Огляд, штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1	Розмір В 10,5 ^{-0,43}	—	Обробити до усунення дефекту. Наплавити в аргоні при В менш 8 мм.
7, 8	Ослаблення посадки або тріщини на сідлах клапанів	Огляд, лупа ЛІ-3·10	—	—	Замінити сідла
9	Окислення, риски або раковини на робочих	Огляд, лупа ЛІ-3·10	—	—	Обробити фаски до усунення

	поверхнях сідел клапанів				дефекту. Замінити сідла.
10	Знос робочих поверхонь сідел впускних клапанів.	Калібр 3 мм або калібр конусний з кутом 90° і більшим діаметром конуса 46,2 мм.	Зсув торця конусного калібру щодо торця сідла: вис-туп 0-0,4	Ширина робочої фаски 3 мм утоплення 0,5	Обробити робочі фаски до усунення дефекту. Замінити сідла.
11	Знос робочих поверхонь сідел випускних клапанів	Калібр 3 мм або калібр конусний з кутом 90 ° і більшим діаметром конуса 35,2 мм.	Зсув торця конусного калібру щодо торця сідла: вис-туп 0-0,4	Ширина робочої фаски 3 мм утоплення 1,0	Обробити робочі фаски до усунення дефекту. Замінити сідла.
12	Знос отворів під сідло впускних клапанів	Калібри-пробки або нутромір НН 18-50-1	49 ^{+0,027} 1 р.р. 49,05 ^{+0,027}	49,04 49,09	Обробити до ремонтного розміру.
13	випускних клапанів		2 р.р. 49,25 ^{+0,027} 38,5 ^{+0,027} 1 р.р. 38,55 ^{+0,027} 2 р.р. 38,75 ^{+0,027}	49,29 38,54 38,59 38,79	
14, 15	Ослаблення посадки і знос отворів напрямних втулок клапанів	Калібри-пробки або нутромір НН 6-10-1	9 ^{+0,022} 1 р.р. 9,2 ^{+0,022} 2 р.р. 8,8 ^{+0,022}	9,03 9,23 8,83	Обробити до ремонтного розміру. Замінити втулки.
16	Знос отворів під напрямні втулки клапанів.	Калібри-пробки або нутромір НН 10-18-1	17 ^{+0,025} 1 р.р. 17,25 ^{+0,025} 2р.р. 17,50 ^{+0,025}	17,04 17,29 17,54	Обробити до ремонтного розміру.
17	Зрив або знос різьби під свічки.	Огляд. Калібр-пробка різьбова НН М14×1,25-6Н	М14×1,25 – 5Н6Н	—	Аргоно-дугове зварювання. Поставити додаткові ввертиші.

1.3 Варіанти маршрутів відновлення деталі

Формування технологічних процесів відновлення деталей доцільно здійснювати з використанням маршрутного підходу, який забезпечує

впорядковану організацію виробництва, раціональне завантаження обладнання та зниження витрат енергії. Застосування маршрутної технології також дає змогу уникнути перехресних і зустрічних переміщень деталей між виробничими дільницями ремонтного підприємства, що позитивно впливає на загальну ефективність ремонтних робіт.

Під маршрутом відновлення розуміють логічно обґрунтовану послідовність технологічних операцій, виконання яких забезпечує мінімальну протяжність переміщення деталі між цехами та дільницями при збереженні необхідної якості відновлення.

Під час розроблення маршрутів відновлення головки блока циліндрів доцільно дотримуватися таких основних положень:

поєднання дефектів у межах одного маршруту повинно відповідати реальним умовам експлуатації деталі та ґрунтуватися на аналізі закономірностей їх виникнення;

маршрут має передбачати технологічну узгодженість між характером виявлених дефектів і вибраними способами їх усунення;

кількість можливих маршрутів відновлення необхідно обмежувати до мінімально доцільної, що спрощує організацію ремонтного виробництва;

застосування маршрутної технології повинно бути економічно обґрунтованим та враховувати як технічну доцільність, так і реальні можливості відновлення окремих поверхонь деталі.

Залежно від комбінації виявлених пошкоджень відновлення головки блока циліндрів може здійснюватися за одним із наведених маршрутів.

Маршрут №1 включає усунення таких дефектів:

наявність тріщин у зоні водяної сорочки охолодження;

порушення площинності поверхні прилягання головки до блока циліндрів;

пошкодження або зношування різьбових отворів під свічки запалювання;

збільшення зносу посадочних отворів під напрямні втулки клапанів.

Маршрут №2 передбачає відновлення головки блока циліндрів за наявності таких дефектів:

тріщини в сорочці охолодження;

зрив або значний знос різьби під свічки;

тріщини в зоні сідел клапанів;

зношування робочих поверхонь сідел впускних клапанів;

зношування робочих поверхонь сідел випускних клапанів.

Маршрут №3 застосовується у випадку поєднання таких пошкоджень:

тріщини в елементах системи охолодження головки блока;

деформація площини прилягання до блока циліндрів;

обрив шпильок у різьбових отворах або руйнування різьби;

утворення тріщин у сідлах клапанів;

значний знос робочих поверхонь сідел випускних клапанів.

У межах даної роботи подальша розробка технологічного процесу відновлення головки блока циліндрів двигуна Audi A5 буде здійснюватися відповідно до маршруту №1, як найбільш характерного з точки зору умов експлуатації та сукупності типових дефектів.

1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

У технологічному розділі необхідно розробити раціональний технологічний процес відновлення головки блока циліндрів двигуна автомобіля з урахуванням характерних дефектів, умов експлуатації та вимог до забезпечення її довговічності. Слід обґрунтувати доцільність відновлення деталі порівняно з її заміною, а також забезпечити технологічну та економічну ефективність запропонованих рішень. Необхідно виконати аналіз можливих маршрутів відновлення головки блока циліндрів, порівняти альтернативні технологічні варіанти та обґрунтувати вибір оптимального маршруту з урахуванням технічного стану деталі, виду дефектів, доступного обладнання й вимог до якості. На основі обраного маршруту слід сформувати маршрутну карту відновлення із зазначенням послідовності операцій. Потрібно визначити режими виконання основних технологічних операцій відновлення (механічної обробки, зварювання, шліфування, контролю тощо), а також здійснити нормування часу для кожної операції. Результати нормування мають бути використані для оцінювання трудомісткості та технологічної доцільності процесу відновлення.

У конструкторському розділі необхідно розробити спеціалізовані пристрої, призначені для виконання ремонтних операцій із головкою блока циліндрів, з метою підвищення безпеки, зручності та продуктивності праці. Слід спроектувати пристрій для демонтажу головки блока циліндрів двигуна автомобіля, обґрунтувати його конструктивну схему, принцип дії та область застосування. Необхідно розробити пристрій для розбирання та складання головки циліндрів, визначити його основні елементи, функціональні можливості та переваги порівняно з існуючими аналогами. Потрібно детально описати будову та принцип роботи пристрою для стискання клапанних пружин і вилучення сухарів, пояснити послідовність виконання операцій і особливості безпечного використання пристрою. Слід виконати розрахунок основних елементів розроблених пристроїв на міцність, визначити напружено-деформований стан найбільш навантажених деталей та підтвердити працездатність і надійність конструкції.

Науково-дослідний розділ має бути спрямований на дослідження довговічності головки блока циліндрів з урахуванням її термомеханічного навантаження в умовах експлуатації. Необхідно обґрунтувати вибір матеріалу головки блока циліндрів та прийняти відповідну модель механічної поведінки матеріалу. Слід розглянути сучасні підходи до прогнозування термомеханічного ресурсу деталей двигунів внутрішнього згоряння та обґрунтувати вибір методики дослідження. Потрібно побудувати скінченно-елементну модель головки блока циліндрів, задати геометричні параметри, граничні умови та фізико-механічні властивості матеріалів. Необхідно виконати аналіз теплового стану головки блока циліндрів у робочих режимах двигуна та визначити розподіл температурних полів. Слід дослідити напружено-деформований стан деталі під дією механічних і теплових навантажень. Потрібно виконати оцінювання довговічності головки блока циліндрів за умов малоциклової втоми та сформулювати висновки щодо впливу відновлювальних технологій на її ресурс.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування вибору маршруту відновлення та формування маршрутної карти

Технологічний процес відновлення деталі являє собою впорядковану сукупність окремих операцій, спрямованих на відновлення її працездатності та експлуатаційних характеристик. Під технологічною операцією розуміють завершену частину виробничого процесу, яка виконується на одному робочому місці із застосуванням визначеного обладнання працівниками відповідної спеціалізації та кваліфікації.

Операція, у свою чергу, може поділятися на окремі технологічні переходи. Технологічний перехід є закінченим елементом операції, що виконується з використанням незмінного технологічного оснащення, за сталих режимів обробки та при фіксованому положенні деталі. Така структура технологічного процесу забезпечує чітку організацію робіт і можливість точного нормування трудомісткості.

Проектування маршруту відновлення деталі передбачає визначення оптимальної послідовності виконання технологічних операцій, обґрунтований вибір обладнання та технологічного оснащення, а також розрахунок режимів обробки й нормативів часу для кожної операції. Подальша деталізація процесу включає раціональну побудову окремих операцій і встановлення доцільної послідовності переходів з урахуванням технологічної взаємозалежності виконуваних робіт.

Вибір конкретного маршруту відновлення головки блока циліндрів здійснюється на основі аналізу експлуатаційних та експериментальних даних щодо характеру й періодичності виникнення дефектів. До найбільш типових і стабільно повторюваних пошкоджень головки блока циліндрів належать знос або руйнування різьбових отворів під свічки запалювання, а також утворення тріщин у зоні сорочки охолодження. Окрім цього, в процесі експлуатації досить часто спостерігаються деформації поверхні прилягання головки до блока циліндрів і зношування отворів під напрямні втулки клапанів.

З урахуванням зазначених факторів і аналізу поєднання найбільш характерних дефектів було обґрунтовано вибір маршруту відновлення головки блока циліндрів двигуна Audi A5, який забезпечує технологічну доцільність і економічну ефективність ремонтних робіт. Узагальнена послідовність операцій обраного маршруту відновлення наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.2. Маршрут відновлення головки блоку циліндрів двигуна audi A5.
Твердість робочих поверхонь: 50 - 70 НВ. Сумарний час відновлення: 84,75

Найменування дефекту	№ операції	Найменування і зміст операції	Обладнання (тип, модель)	Технологічне оснащення	Ріжучий і вимірювальний інструмент	час, хв
1. Тріщини на сорочці охолодження. 2. Викривлення поверхні прилягання до блоку циліндрів. 3. Зрив або знос різьби під свічки. 4. Знос отворів напрямних втулок клапанів.	005	Слюсарна - обробити тріщини під кутом 90 ° - 120 ° на глибину 3-5 мм;	Стенд-кантувальник	Ручна шліфувальна машина ІП-2009А;	Шліфувальний круг	4,09
	010	Зварювання аргоно-дугове - заварити тріщини на сорочці охолодження головки блоку циліндрів; - зачистити місце зварювання;	Стенд-кантувальник	Установка для аргоно-дугового зварювання УДГ-301 з газоелектричним пальником ГРАД-200;	Алюмінієвий присадний дріт Св-АК5 Ø5 мм; Вольфрамовий неплавкий електрод ВА-1А Ø8 мм; Балон з аргоном.	7,11
	015	Контроль - провести гідравлічне випробування зварних швів на герметичність	Стенд для гідравлічного випробування SERDI SPT 1501			5,4
	020	Фрезерна - фрезерувати поверхню прилягання до блоку циліндрів, витримуючи розмір 19,25±0,26мм.	Вертикально-фрезерний верстат 6Н11	Цанговий патрон Затискачі;	Фреза торцева зі вставними зубами з твердого сплаву ВК8	7,09
	025	Слюсарна -провести дрібоструменеву обробку до рівномірної матової поверхні; - обдуть стисненим повітрям; - знежирити спиртом;	Установка для дрібоструменевої обробки АВ-1070		Чавунна дріб марки ДЧК-1,5; Спирт;	8,78
	030	Металізація дугова - встановити заглушки; - нанести насічки під кутом 45° і кроком 6-8 мм по зовнішніх краях головки блоку;	Стіл металізатора;	Металізатор ЕМ-19; Джерело живлення: ВД-131	Заглушки з термостійкої гуми; Алюмінієвий дріт Св-АЛ Ø1,5 мм;	8,1

		- напилити покриття до 19,50 мм; - витягнути заглушки.				
035		Шліфувальна - шліфувати поверхню прилягання до блоку циліндрів, витримуючи розмір 19,25±0,26 мм.	Плоскошліфувальний верстат 3Л722В	Патрон; Затискачі;	Круг шліфувальний ПП450·80·203 24А10ПС26К5 кл.А	5,52
040		Свердлильна - розсвердлити різьбові отвори до розміру Ø16,4 мм.	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	Кондуктор, патрон	Свердло спіральне з конічним хвостовиком Ø16,4 мм	8,48
045		Слюсарна - нарізати різьбу номінального розміру М18 × 1,25; - закрутити різьбові вставки; - обломати технологічні повідці.	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	Кондуктор, патрон різьбонарізний 230.2.45.160.24 ГОСТ 25827-93;	Мітчик М18 × 1,25 Масло И-20А Різьбові вставки М14 × 1,25; Довгогубці.	10,78
050		Свердлильна - розвернути отвори втулок під ремонтний розмір: Ø 9,2+0,022 мм	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	Кондуктор, патрон, затискачі	Розвертка 2363-009447	11,4
055		Контроль - контролювати розмір отвору втулки: 1-й ремонтний-9,2 мм; - контролювати глибину камери згоряння: 19,25±0,26 мм; - контролювати площинність поверхні прилягання до блоку циліндрів: відхилення не більше 0,1 мм по довжині 100 мм; - контролювати різьбу під свічки: М14х1,25.	Стіл контролера	Пристосування для виміру глибини камери згоряння;	Калібри-пробки НЕ Нутромір НИ 6-10-1 Лінійка ШП-2-630 Щуп 0,1 мм ТУ 2-034-0221197Е; Калібр-пробка різьбова НЕ М14 × 1,25-6Н	8,0

2.2 Визначення режимів виконання технологічних операцій та нормування часу

Нормування трудових витрат при відновленні головки блока циліндрів здійснюється шляхом розрахунку технічної норми часу для кожної окремої технологічної операції. Такий розрахунок є необхідним для обґрунтування

тривалості виконання робіт, планування завантаження обладнання та оцінювання загальної трудомісткості процесу відновлення.

Штучний час, що характеризує повну тривалість виконання однієї технологічної операції, визначається як сума основних складових часу і може бути поданий у вигляді залежності:

$$T_{ш} = T_{оп} + T_{д} + T_{пз},$$

де $T_{оп}$ – оперативний час, хв;

$T_{д}$ – додатковий час, хв;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, хв.

Оперативний час включає безпосередні витрати часу на виконання операції та визначається як:

$$T_{оп} = T_o + T_{в},$$

де T_o – основний (машинний) час, хв;

$T_{в}$ – допоміжний час, хв.

Допоміжний час охоплює дії, необхідні для забезпечення виконання основної обробки, і визначається співвідношенням:

$$T_{в} = T_y + T_n + T_z,$$

де T_y – час на установлення та зняття деталі, хв;

T_n – час, пов'язаний з виконанням окремих технологічних переходів, хв;

T_z – час, необхідний для проведення вимірювань і контролю параметрів, хв.

Додатковий час враховує витрати, пов'язані з організацією та підтриманням нормальних умов праці, і визначається як:

$$T_{д} = T_{норм} + T_{л},$$

де $T_{норм}$ – час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{л}$ – час на особисті потреби виконавця, хв.

Застосування такої структурованої схеми розрахунку технічних норм часу дозволяє отримати об'єктивну оцінку тривалості технологічних операцій і забезпечує раціональне планування процесу відновлення головки блока циліндрів.

Операція 005 – слюсарна обробка

На даному етапі технологічного процесу виконується підготовка тріщини до подальшого відновлення шляхом механічної обробки. Тріщину необхідно розкрити під кутом $90-120^\circ$ на глибину, що становить 3–5 товщин стінки деталі, з метою забезпечення якісного провару та надійного відновлення матеріалу.

$$T_{\text{нр}} = 1,5 + 0,7 + 0,19 + 1,4 = 3,79$$

Часові витрати на виконання операції визначаються за такими складовими:

T_y – допоміжний час, необхідний для встановлення головки блока циліндрів на стенд-кантувальник, становить 1,4 хв;

T_o – основний час безпосередньої обробки тріщини, дорівнює 1,5 хв;

T_b – час, пов’язаний з увімкненням та вимкненням шліфувальної машинки, складає 0,7 хв;

T_{yi} – час на встановлення та зняття робочого інструменту, становить 0,19 хв.

Оперативний час виконання слюсарної операції визначається сумуванням основного та допоміжного часу і становить 3,79 хв.

Додаткові витрати часу, що враховують обслуговування робочого місця та регламентовані перерви, приймаються на рівні 8 % від оперативного часу і складають:

$$T_d = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 0,3 \text{ хв.}$$

Таким чином, штучно-калькуляційний час на виконання слюсарної операції з підготовки тріщини становить:

$$T_{\text{шк}} = 3,79 + 0,3 = 4,09 \text{ хв.}$$

Отримане значення використовується для подальшого нормування трудомісткості процесу відновлення головки блока циліндрів.

Операція 010 – аргондугове зварювання

На даній стадії технологічного процесу виконується усунення тріщин, виявлених у зоні сорочки охолодження головки блока циліндрів, шляхом аргондугового зварювання. Застосування цього способу забезпечує локальне нагрівання металу, стабільність зварювальної дуги та формування якісного шва з мінімальним тепловим впливом на прилеглі ділянки деталі.

Нормування витрат часу на виконання ручних газозварювальних робіт здійснюється відповідно до рекомендованих методик і базується на врахуванні геометричних та фізико-механічних параметрів зварного з'єднання. Основними вихідними даними для розрахунку є:

$$T_o = \left(\left(\frac{F \cdot \gamma}{\alpha_p} + t_p \cdot n_p + 1 + \frac{0,4}{L} \right) \cdot L + t_{b2} \right) \cdot K$$

F – площа поперечного перерізу зварного шва, яка становить 12,5 мм²;

ρ – густина зварюваного матеріалу, що приймається рівною 2,8 г/см³;

q – коефіцієнт розплавлення металу, який дорівнює 9,0 г/хв;

t_p – основний час, необхідний для одного циклу підігріву кромки на початку зварювання та в його процесі, що становить 0,43 хв;

n_p – кількість підігрівів кромки, що припадає на 1 мм довжини шва;

L – протяжність зварного шва, яка для даної операції прийнята рівною 0,1 м;

t_{b2} – допоміжний час, пов'язаний з установленням, повертанням і зняттям виробу під час зварювання, що складає 1,5 хв;

k – узагальнений коефіцієнт, який враховує витрати часу на обслуговування робочого місця, регламентовані перерви на особисті потреби виконавця, а також підготовчо-заклучні роботи.

Зазначені параметри використовуються для визначення загальної трудомісткості аргонодугового зварювання тріщин і дозволяють обґрунтовано встановити технічну норму часу для даної операції в межах процесу відновлення головки блока циліндрів.

$$k = 1,16.$$

$$T_o = \left(\left(\frac{12,5 \cdot 2,8}{9,0} + 0,43 \cdot 1 + 1 + \frac{0,4}{0,1} \right) \cdot 0,1 + 1,5 \right) \cdot 1,16 = 2,71 \text{ хв}$$

Оперативні витрати часу на виконання зазначеної операції становлять:

$T_{оп}$ – оперативний час, 1,2 хв.

Підготовчо-заклучні витрати часу, пов'язані з організацією робочого місця та завершенням операції, приймаються рівними:

$T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час, 2,0 хв.

Таким чином, загальний штучно-калькуляційний час на виконання зварювальної операції з урахуванням зачистки визначається як сума оперативного та підготовчо-заключного часу і становить:

$$T_{\text{шк}} = 2,71 + 1,2 \cdot 2 + 2 = 7,11 \text{ хв}$$

Операція 015 – контрольна.

На даному етапі технологічного процесу виконується гідравлічне випробування зварних з'єднань головки блока циліндрів з метою перевірки їх герметичності та відсутності прихованих дефектів. Контроль здійснюється шляхом подавання робочого середовища під заданим тиском із подальшим візуальним спостереженням за можливими витоками.

Тривалість виконання контрольних робіт приймається на підставі узагальнення результатів раніше проведених випробувань і діючих нормативів та становить:

$T_{\text{оп}}$ – оперативний час контролю, 5,0 хв.

Додаткові витрати часу, що враховують обслуговування робочого місця та регламентовані перерви, приймаються на рівні 8 % від оперативного часу і складають:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 0,4 \text{ хв}$$

Таким чином, штучно-калькуляційний час на виконання контрольної операції дорівнює:

$$T_{\text{шк}} = 5,0 + 0,4 = 5,4 \text{ хв}$$

Операція 020 – фрезерна

Наступною технологічною операцією є механічна обробка поверхні прилягання головки блока циліндрів до блока циліндрів, яка виконується шляхом фрезерування. Метою операції є відновлення площинності, забезпечення необхідної шорсткості та досягнення герметичного з'єднання у вузлі «головка–блок».

Норму основного часу фрезерної обробки визначають за аналітичною залежністю, яка враховує режими різання, геометричні параметри оброблюваної поверхні та характеристики застосованого інструменту.

$$T_0 = \frac{L_{p.x.} \cdot i}{S_{o.\phi.} \cdot n_{\phi}}$$

i – кількість робочих проходів інструмента, яка для даної операції приймається рівною 2, що обумовлено необхідністю поетапного зняття припуску з метою забезпечення заданої точності та якості поверхні;

$S_{\text{ф.}}$ – фактична (паспортна) подача фрези, яка становить 35 мм/хв і визначається технічними характеристиками застосовуваного обладнання;

$n_{\text{ф}}$ – дійсна частота обертання шпинделя верстата, що дорівнює 50 об/хв та відповідає обраному режиму різання;

$L_{\text{р.х.}}$ – довжина робочого ходу супорта під час обробки поверхні, яка для даної деталі складає 620 мм.

$$T_0 = \frac{620 \cdot 2}{35 \cdot 50} = 0,71 \text{ хв}$$

Допоміжний час на фрезерування поверхні:

$$T_{\text{в}} = 3,0 + 1,0 = 4,0 \text{ хв};$$

T_y – час, необхідний для встановлення деталі на верстат та її зняття після завершення обробки, який для даної операції приймається рівним 3,0 хв;

T_z – витрати часу, пов'язані з контролем площинності обробленої поверхні та виконанням відповідних вимірювань, що становлять 1,0 хв.

З урахуванням наведених складових оперативний час фрезерування поверхні прилягання визначається як сума основного часу різання та допоміжного часу, пов'язаного з установленням, зняттям деталі й проведенням контрольних вимірювань

Для фрезерної обробки поверхні прилягання головки блока циліндрів оперативний час визначається як сума основного та допоміжного часу і становить:

$$T_{\text{оп}} = 0,71 + 4,0 = 4,71 \text{ хв.}$$

Додаткові витрати часу, пов'язані з обслуговуванням робочого місця та регламентованими перервами, приймаються на рівні 8 % від оперативного часу, що складає:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 0,38 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час для даної операції становить 2,0 хв. Таким чином, штучно-калькуляційний час фрезерної операції визначається як:

$$T_{\text{шк}} = 4,71 + 0,38 + 2,0 = 7,09 \text{ хв.}$$

Операція 025 – слюсарна (дробоструменева обробка)

Наступним етапом технологічного процесу є дробоструменева обробка поверхонь головки блока циліндрів з метою отримання рівномірної матової текстури та підвищення адгезії наступних покриттів.

Основний час виконання операції приймається рівним:

$$T_o = 3,0 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на проведення дробоструменевої обробки включає:

T_y – час на встановлення та зняття деталі, 1,0 хв;

T_z – час, необхідний для виконання контрольних вимірювань, 0,7 хв.

Загальний допоміжний час становить:

$$T_b = 1,0 + 0,7 = 1,7 \text{ хв.}$$

Відповідно, оперативний час дробоструменевої обробки дорівнює:

$$T_{op} = 3,0 + 1,7 = 4,7 \text{ хв.}$$

Додатковий час приймається у розмірі 8 % від оперативного часу:

$$T_d = T_{op} \cdot 0,08 = 0,38 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час для цієї операції становить 1,5 хв.

Після завершення дробоструменевої обробки виконуються допоміжні дії:

обдування поверхні стисненим повітрям, штучний час – 1,0 хв;

знежирення поверхні прилягання до блока циліндрів спиртом, штучний час – 1,2 хв.

З урахуванням усіх складових штучно-калькуляційний час дробоструменевої операції визначається як:

$$T_{шк} = (4,7 + 0,38 + 1,5) + 1,0 + 1,2 = 8,78 \text{ хв.}$$

Операція 030 – дугова металізація

На даному етапі здійснюється підготовка та нанесення металізаційного покриття на відновлювані поверхні головки блока циліндрів.

Перед початком напилення виконуються такі підготовчі дії:

установлення заглушок у технологічні отвори, штучний час – 1,0 хв;

нанесення насічок під кутом 45° з кроком 6–8 мм по зовнішніх кромках головки блока циліндрів для покращення зчеплення покриття з основним матеріалом, штучний час – 3,2 хв.

Безпосереднє напилення поверхні виконується методом дугової металізації, при цьому норма основного часу визначається за відповідною аналітичною залежністю з урахуванням площі напилення, продуктивності установки та режимів процесу.

$$T_0 = 0,006 \cdot \frac{b \cdot l \cdot h \cdot \gamma}{q \cdot k}$$

b – ширина деталі в зоні нанесення покриття, яка для даного випадку приймається рівною 15 см;

l – протяжність поверхні, на яку здійснюється напилення, що становить 58 см;

h – розрахункова товщина відновлювального шару, яка задається на рівні 0,15 мм і забезпечує необхідний припуск для подальшої механічної обробки;

γ – густина напилюваного металу, яка для застосовуваного матеріалу дорівнює 2,8 г/см³;

q – технічна продуктивність металізаційного апарата, що визначає масу наплавленого металу за одиницю часу та для даного обладнання приймається рівною 10 кг/год;

k – коефіцієнт використання матеріалу, який враховує втрати металу під час напилення і для дугової металізації становить 0,8.

$$T_0 = 0,006 \cdot \frac{15 \cdot 58 \cdot 0,15 \cdot 2,8}{10 \cdot 0,8} = 0,28 \text{ хв}$$

Під час виконання операції дугової металізації враховується допоміжний час, необхідний для забезпечення технологічного процесу напилення. Загальна величина допоміжних витрат часу становить:

$$T_b = 1,0 + 0,4 = 1,4 \text{ хв,}$$

де T_y – час, витрачений на встановлення деталі на робоче місце та її зняття після завершення напилення, який приймається рівним 1,0 хв;

T_z – витрати часу на виконання контрольних вимірювань параметрів напиленого шару, що становлять 0,4 хв.

Оперативний час напилення поверхні визначається як сума основного та допоміжного часу і дорівнює:

$$T_{оп} = 0,28 + 1,4 = 1,68 \text{ хв.}$$

Додаткові витрати часу, які враховують обслуговування робочого місця, регламентовані перерви та організаційні чинники, приймаються на рівні 13 % від оперативного часу:

$$T_d = T_{\text{оп}} \cdot 0,13 = 0,22 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час для операції металізації встановлюється рівним 2,0 хв. З урахуванням усіх складових штучний час на виконання напилення поверхні становить:

$$T_{\text{ш}} = 1,68 + 0,22 + 2,0 = 3,9 \text{ хв.}$$

Оскільки перед напиленням виконуються додаткові підготовчі операції – встановлення заглушок (1,0 хв) та нанесення насічок (3,2 хв), загальний штучно-калькуляційний час операції напилення визначається як:

$$T_{\text{шк}} = 3,9 + 1,0 + 3,2 = 8,1 \text{ хв.}$$

Операція 035 – шліфувальна

Завершальним етапом відновлення є шліфування поверхні прилягання головки блока циліндрів до блока циліндрів. Метою даної операції є досягнення заданої площинності, необхідної шорсткості поверхні та забезпечення герметичності з'єднання в процесі подальшої експлуатації двигуна.

$$T_o = \frac{L \cdot B \cdot K \cdot h}{1000 \cdot V \cdot S \cdot Z} i$$

L – протяжність зони шліфування, яка для даної деталі становить 58 см;

B – ширина поверхні, що підлягає обробці, прийнята рівною 15 см;

h – величина припуску на одну сторону, яка задається на рівні 0,05 мм та забезпечує досягнення необхідної точності після обробки;

K – поправковий коефіцієнт, що враховує зношування абразивного круга в процесі роботи і для прийнятих умов шліфування дорівнює 1,4;

V – швидкість переміщення робочого стола шліфувального верстата, яка для даного режиму становить 5 м/хв;

S – подача на глибину шліфування за один робочий хід, прийнята рівною 5 мм/хід;

Z – кількість деталей, що обробляються одночасно, для даного випадку становить 1 шт.;

i – число робочих проходів абразивного інструмента, яке для забезпечення необхідної якості поверхні приймається рівним 1.

$$T_0 = \frac{580 \cdot 150 \cdot 1,4 \cdot 0,05 \cdot 1}{1000 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 1} = 0,26$$

Під час виконання шліфування поверхні прилягання враховується допоміжний час, необхідний для забезпечення коректного та контрольованого перебігу технологічного процесу. Загальна величина допоміжних витрат часу визначається як:

$$T_b = 2,0 + 1,0 = 3,0 \text{ хв},$$

Де T_y – час, необхідний для встановлення деталі на верстат і її зняття після завершення обробки, який приймається рівним 2,0 хв;

T_z – витрати часу на контроль площинності обробленої поверхні та виконання відповідних вимірювань, що становлять 1,0 хв.

Оперативний час шліфувальної обробки визначається як сума основного часу різання та допоміжних витрат і дорівнює:

$$T_{оп} = 0,26 + 3,0 = 3,26 \text{ хв.}$$

Додатковий час, який враховує обслуговування робочого місця та регламентовані перерви, приймається у розмірі 8 % від оперативного часу:

$$T_d = T_{оп} \cdot 0,08 = 0,26 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучні витрати часу для даної операції встановлюються на рівні 2,0 хв. З урахуванням усіх складових штучно-калькуляційний час шліфувальної операції становить:

$$T_{шк} = 3,26 + 0,26 + 2,0 = 5,52 \text{ хв.}$$

Операція 040 – свердлильна

Наступною стадією технологічного процесу є свердлильна обробка, яка полягає в розсвердлюванні різьбових отворів до діаметра Ø16,4 мм. Метою операції є підготовка отворів до подальшого відновлення різьби та забезпечення необхідної геометричної точності й співвісності.

$$T_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot V \cdot S}$$

D – номінальний діаметр оброблюваного отвору, який становить 16,4 мм;

L – довжина ділянки свердління, прийнята рівною 10 мм;

S – подача шпинделя за один оберт, що для даної операції становить 0,1 мм/об;

V – швидкість різання, яка відповідно до рекомендованих режимів приймається рівною 26,0 м/хв.

Частота обертання шпинделя визначається за стандартною аналітичною залежністю:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d},$$

де d – діаметр свердла, мм.

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$n = \frac{1000 \cdot 26}{3,14 \cdot 16,4} = 499,89 \text{ хв}^{-1}.$$

З урахуванням можливостей обладнання частоту обертання шпинделя приймаємо рівною:

$$n = 500 \text{ хв}^{-1}.$$

Уточнене фактичне значення швидкості різання при прийнятій частоті обертання визначається зворотною формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 16,4 \cdot 500}{1000} = 25,75 \text{ м/хв.}$$

$$T_0 = \frac{3,14 \cdot 16,4 \cdot 10,0}{1000 \cdot 25,75 \cdot 0,1} = 0,2 \text{ хв}$$

Оскільки обробці підлягають чотири різьбові отвори, сумарний основний час свердління визначається пропорційно їх кількості та становить:

$$T_0 = 0,2 \cdot 4 = 0,8 \text{ хв.}$$

Допоміжні витрати часу, необхідні для забезпечення процесу розсвердлювання, включають операції встановлення деталі, виконання контрольних вимірювань та переходів між отворами. Загальний допоміжний час дорівнює:

$$T_B = 2,0 + 1,2 + 2,0 = 5,2 \text{ хв,}$$

де T_y – час на установлення та зняття деталі з робочого місця, що становить 2,0 хв;

T_z – витрати часу на проведення вимірювань, які приймаються по 0,3 хв на кожен отвір, загалом 1,2 хв;

T_{Π} – час, пов’язаний із виконанням переходів між операціями, який дорівнює 2,0 хв.

Оперативний час свердлильної операції визначається як сума основного та допоміжного часу:

$$T_{\text{оп}} = 0,8 + 5,2 = 6,0 \text{ хв.}$$

Додаткові витрати часу приймаються на рівні 8 % від оперативного часу:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 0,48 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час для даної операції встановлюється рівним 2,0 хв. Таким чином, штучно-калькуляційний час свердлильної операції становить:

$$T_{\text{шк}} = 6,0 + 2,0 + 0,48 = 8,48 \text{ хв.}$$

Операція 045 – слюсарна

На даному етапі виконується нарізування різьби номінального розміру М18×1,25 у підготовлених отворах. Основний час операції визначається з урахуванням кількості отворів і становить:

$$T_{\text{о}} = 0,4 \cdot 4 = 1,6 \text{ хв.}$$

Допоміжні витрати часу включають контрольні вимірювання та виконання технологічних переходів і дорівнюють:

$$T_{\text{в}} = 0,3 \cdot 4 + 2,0 = 3,2 \text{ хв,}$$

Де $T_{\text{з}}$ – час, витрачений на перевірку параметрів різьби, загалом 1,2 хв;

T_{Π} – час, пов’язаний з переходами між операціями, 2,0 хв.

Оперативний час операції нарізування різьби визначається як:

$$T_{\text{оп}} = 1,6 + 3,2 = 4,8 \text{ хв.}$$

Додаткові витрати часу приймаються у розмірі 8 % від оперативного часу:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 0,38 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час становить 2,0 хв, у результаті чого штучний час на операцію нарізування різьби дорівнює:

$$T_{\text{ш}} = 4,8 + 0,38 + 2,0 = 7,18 \text{ хв.}$$

Після цього виконуються допоміжні слюсарні дії: вгвинчування різьбових вставок, для яких штучний час становить:

$$T_{\text{ш}} = 0,8 \cdot 4 = 3,2 \text{ хв,}$$

та обламування технологічних повідців, що потребує:

$$T_{\text{ш}} = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ хв.}$$

Отже, загальний штучно-калькуляційний час операції відновлення різьбових отворів становить:

$$T_{\text{шк}} = 7,18 + 3,2 + 0,4 = 10,78 \text{ хв.}$$

Операція 050 – свердлильна

Наступною технологічною стадією є розгортання отворів напрямних втулок клапанів до ремонтного розміру $\varnothing 9,2_{+0,022}$ мм, що забезпечує необхідну точність та співвісність посадочних поверхонь.

Норма основного часу даної операції визначається за відповідною розрахунковою формулою з урахуванням режимів різання, геометричних параметрів отворів і технічних характеристик застосовуваного інструмента

$$T_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot V \cdot S}$$

D – діаметр отвору після обробки, який становить 9,2 мм;

L – довжина оброблюваної ділянки отвору, прийнята рівною 50 мм;

S – подача шпинделя за один оберт інструмента, що встановлюється на рівні 0,2 мм/об;

V – рекомендована швидкість різання для даної операції, яка приймається рівною 14,0 м/хв.

Частоту обертання шпинделя визначають за стандартною залежністю, що пов'язує швидкість різання з діаметром інструмента:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}.$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$n = \frac{1000 \cdot 14}{3,14 \cdot 9,2} = 484,63 \text{ хв}^{-1}$$

З урахуванням можливостей обладнання та стандартного ряду частот обертання шпинделя приймаємо:

$$n = 5 \downarrow \text{хв}^{-1}.$$

Уточнене фактичне значення швидкості різання при прийнятій частоті обертання визначається зворотною формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 9,2 \cdot 500}{1000} = 14,44 \text{ м/хв.}$$

$$T_0 = \frac{3,14 \cdot 9,2 \cdot 50,0}{1000 \cdot 14,44 \cdot 0,2} = 0,5 \text{ хв}$$

Оскільки обробці підлягають вісім отворів, сумарний основний час операції визначається пропорційно їх кількості та становить:

$$T_0 = 0,5 \cdot 8 = 4,0 \text{ хв.}$$

Допоміжні витрати часу, необхідні для забезпечення процесу розсвердлювання отворів під ремонтні розміри, включають виконання установчих дій, контрольних вимірювань та технологічних переходів. Загальна величина допоміжного часу дорівнює:

$$T_v = 0,3 \cdot 8 + 3,0 = 5,4 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час для даної операції приймається рівним 2,0 хв. Таким чином, штучно-калькуляційний час на розсвердлювання отворів напрямних втулок під ремонтний розмір визначається як:

$$T_{\text{шк}} = 4,0 + 5,4 + 2,0 = 11,4 \text{ хв.}$$

Операція 055 – контроль

На завершальному етапі технологічного процесу виконується контроль якості відновленої головки блока циліндрів. Згідно з чинними рекомендаціями та аналізом аналогічних виробничих операцій, штучно-калькуляційний час на виконання контрольних операцій приймається рівним:

$$T_{\text{шк}} = 8,0 \text{ хв.}$$

Сумарні витрати часу на виконання повного технологічного процесу відновлення головки блока циліндрів визначаються шляхом підсумовування штучно-калькуляційних часів усіх операцій і становлять:

$$\begin{aligned} T &= 4,09 + 7,11 + 5,4 + 7,09 + 8,78 + 8,1 + 5,52 + 8,48 + 10,78 + 11,4 + 8,0 \\ &= 84,75 \text{ хв.} \end{aligned}$$

Отримане значення характеризує повну трудомісткість відновлення головки блока циліндрів і може бути використане для планування виробничого процесу, розрахунку собівартості ремонтних робіт та оцінювання економічної доцільності застосування запропонованої технології.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розроблення пристрою для демонтажу головки блока циліндрів двигуна автомобіля

Сконструйований пристрій для зняття головки блока циліндрів наведено на рисунку 3.1. Його конструктивне виконання орієнтоване на забезпечення рівномірного зусилля демонтажу, зменшення перекосів та мінімізацію ризику пошкодження спряжених поверхонь двигуна.

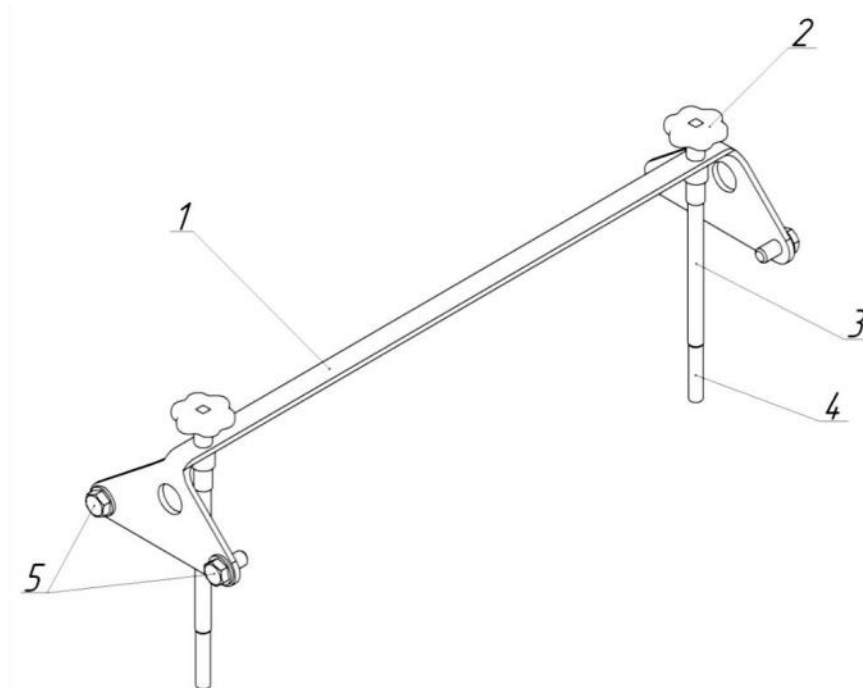


Рис. 3.1. Пристрій для зняття головки блока циліндрів двигуна автомобіля:
1 – траверса; 2 – рукоятка приводу; 3 – силовий гвинт; 4 – напрямна вставка; 5 – монтажні болти.

Основним силовим елементом пристрою є траверса 1, виконана у вигляді жорсткої металевої балки з двома технологічними отворами для встановлення гвинтів 3. Зазначені гвинти оснащені рукоятками 2, що дозволяє здійснювати прикладання зусилля вручну без використання додаткового інструменту, а також направляючими вставками 4, призначеними для точного позиціонування пристрою відносно головки блока циліндрів.

Перед початком демонтажу здійснюють повне відгвинчування штатних болтів кріплення головки блока циліндрів і їх вилучення з різьбових отворів. У

такому стані головка блока утримується на двигуні лише за рахунок двох центрувальних штифтів, які забезпечують її базування під час монтажу.

Для подальшого виконання операції у крайні отвори середнього ряду різьбових гнізд опускають направляючі вставки 4, що забезпечує співвісність пристрою з площиною головки. Після цього траверсу 1 встановлюють на торцеві поверхні головки блока та фіксують за допомогою болтів 5, загвинчуючи їх у відповідні монтажні отвори. Така схема кріплення дозволяє надійно зафіксувати пристрій і створити умови для контрольованого та рівномірного зняття головки блока циліндрів із посадкового місця.

Запропонована конструкція відрізняється простотою, технологічністю та можливістю застосування в умовах ремонтних підприємств і сервісних станцій без використання вантажопідіймального обладнання.

У різьбові гнізда, виконані у верхній площині траверси, встановлюють гвинти 3, після чого шляхом їх обертання за допомогою рукояток 2 здійснюють поступове підведення торців гвинтів до направляючих вставок 4. На наступному етапі, за умови подальшого загвинчування гвинтів, створюється осьове зусилля, спрямоване вгору, унаслідок чого головка блока циліндрів рівномірно переміщується відносно блока двигуна. У процесі цього переміщення відбувається зняття головки з центрувальних штифтів без виникнення перекосів і локальних перевантажень.

Розглянемо силовий болт, який використовується для створення осьового зусилля під час відокремлення головки блока циліндрів від центрувальних штифтів. З метою забезпечення надійності та безпечної роботи пристрою виконаємо перевірочний розрахунок різьбового з'єднання цього болта на дію зусиль зрізу та зминання.

Несуча здатність різьбових витків визначається умовами недопущення перевищення допустимих контактних напружень зминання у зоні взаємодії витків, а також граничних напружень зрізу, що виникають у матеріалі болта або відповідної різьбової частини гайки. При цьому вважається, що навантаження розподіляється між кількома робочими витками різьби, які безпосередньо сприймають прикладене осьове зусилля.

Умова забезпечення міцності різьбових витків за критерієм контактних напружень зминання встановлюється відповідно до рекомендацій нормативних джерел і використовується для перевірки працездатності обраного різьбового з'єднання при заданому рівні навантаження.

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{A_{зм}} = \frac{F}{\pi d_2 H_1 z} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.1)$$

де $A_{зм} = \pi d_2 H_1 z$ – розрахункова (умовна) площа зминання різьбових витків, що бере участь у сприйнятті навантаження;

d_2 – середній діаметр різьби;

H_1 – ефективна робоча висота витка;

z – кількість навантажених витків у гайці з повною висотою H .

Перевірку працездатності різьбового з'єднання також виконують за умовою міцності витків на зріз. У цьому випадку розрахунок проводять для різьбової частини гвинта:

$$\tau_{зр1} = \frac{F}{A_{зр}} = \frac{F}{\pi d_2 a z} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.2)$$

У цьому випадку розрахунок проводять для різьбової частини гайки:

$$\tau_{зр2} = \frac{F}{\pi d b z} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.3)$$

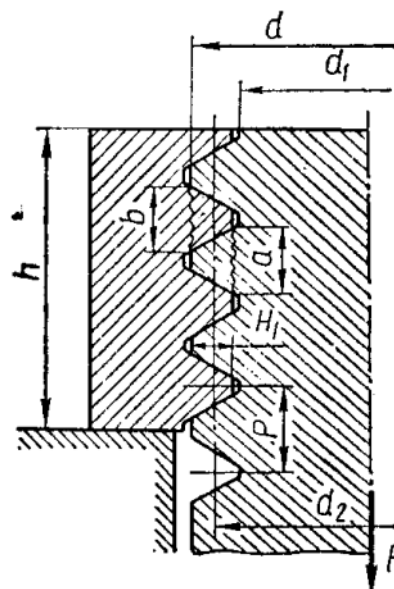


Рис. 3.2. Схема різьбового з'єднання.

З урахуванням геометричних особливостей трикутного профілю різьби приймаємо, що розміри витка за напрямками дії навантаження є рівнозначними,

тобто $a = b \approx 0,8P$, де P – крок різьби. Крім того, сумарна висота навантаженої частини різьби визначається співвідношенням $Pz = h$, що відповідає ефективній довжині взаємодії витків.

За таких припущень початкові розрахункові залежності, наведені у формулах (3.2) та (3.3), можуть бути приведені до спрощеного вигляду для оцінювання міцності різьбової частини гвинта:

$$\tau_{зр1} = \frac{F}{0,8\pi d_1 h} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.4)$$

Для гайки

$$\tau_{зр2} = \frac{F}{0,8\pi d h} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.5)$$

З огляду на те, що гвинт і гайка виготовляються з однакового конструкційного матеріалу, перевірку міцності різьбового з'єднання за критерієм зрізу доцільно виконувати лише для витків гвинта. Це пояснюється тим, що зовнішній діаметр різьби d перевищує її внутрішній діаметр d_1 (рисунок 3.2), а отже, найбільш напружений переріз формується саме у різьбовій частині гвинта.

У подальших розрахунках для оцінювання працездатності різьби використовуються залежності (3.1) – для визначення контактних напружень зминання, а також формула (3.4) – для розрахунку напружень зрізу. При цьому приймається, що осьове навантаження, яке передається через різьбове з'єднання, не перевищує 200 Н. Таке значення зусилля обґрунтоване масою головки блока циліндрів, яка в даній конструкції не перевищує 20 кг.

Після підстановки числових параметрів у відповідні розрахункові вирази визначають фактичні значення напружень зминання різьбових витків, а також напружень зрізу, що виникають у матеріалі гвинта.

$$\sigma_{зм} = \frac{200}{3,14 \cdot 0,0134 \cdot 0,001 \cdot 12} = 396108 \text{ Па}$$

$$\tau_{зр1} = \frac{200}{0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,014 \cdot 0,015} = 379132 \text{ Па}$$

За підсумками виконаних інженерних розрахунків встановлено, що фактичні контактні напруження зминання у різьбовому з'єднанні становлять

$\sigma_{зм} = 0,396 \text{ МПа}$, а напруження зрізу витків гвинта дорівнюють $\tau_{зр} = 0,379 \text{ МПа}$. Отримані значення є істотно нижчими за допустимі для прийнятого матеріалу, що свідчить про виконання умови міцності різьби та підтверджує надійність її роботи в заданих експлуатаційних умовах.

Запропонований пристрій доцільно застосовувати під час виконання операцій з демонтажу головки блока циліндрів, зокрема у випадках обслуговування двигунів V-подібної компоновки. У таких силових агрегатах головка розташована під кутом до вертикальної осі, що істотно ускладнює її зняття традиційними підймальними засобами, зокрема тельферами або ручними лебідками, які не забезпечують прикладання рівномірного зусилля для початкового відокремлення головки від блока.

Застосування розробленого пристрою дозволяє реалізувати контрольований процес зняття головки без різких ударних навантажень. Це, у свою чергу, сприяє збереженню цілісності ущільнювальної прокладки між блоком і головкою, мінімізує ризик пошкодження привалювальної поверхні головки блока циліндрів, а також запобігає деформації або руйнуванню різьбових отворів кріплення. У сукупності зазначені чинники підвищують технологічність ремонтних робіт і скорочують їх трудомісткість.

3.2 Розроблення пристрою для розбирання та складання головки циліндрів двигуна автомобіля

Аналіз поширених засобів для розбирання головки блока циліндрів показує, що більшість стандартного інструменту не забезпечує достатньої універсальності та зручності у використанні. Особливу увагу привертає спеціалізований пристрій для розсухарювання клапанів типу 2486, представлений на рисунку 3.3. Його конструкція відрізняється від класичних рішень і має низку конструктивних особливостей, які впливають на ергономіку роботи та ефективність виконання операцій під час технічного обслуговування і ремонту головок блока циліндрів.

Аналіз конструкції пристрою, поданого на рисунку 3.3, свідчить про його обмежені функціональні можливості. Основним недоліком є те, що процес

демонтажу сухарів може бути виконаний лише для одного клапана за один робочий цикл. За умов виконання ремонтних операцій із багатоклапанними головками блока циліндрів це призводить до зростання трудомісткості та збільшення тривалості робіт. У зв'язку з цим доцільним є або конструктивне вдосконалення зазначеного пристрою, або розроблення принципово нового технічного рішення, яке забезпечувало б можливість одночасного знімання сухарів з усіх клапанів головки блока циліндрів.

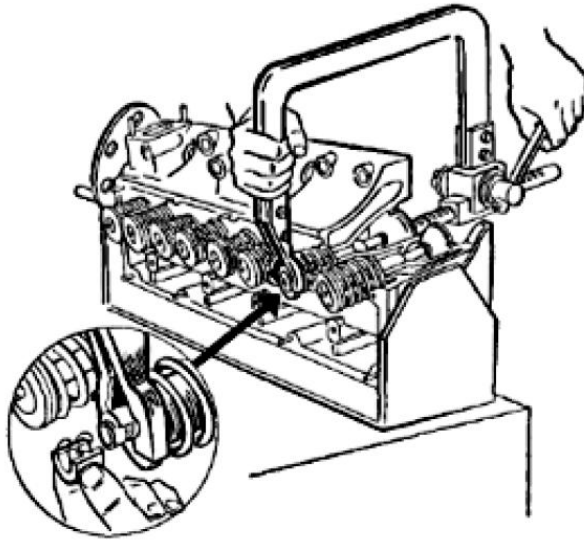


Рис. 3.3. Пристрій для вилучення сухарів клапанів.

Розглядаючи варіант пристосування важільного типу, наведений на рисунку 3.4, слід зазначити, що, попри простоту конструкції, йому притаманні суттєві експлуатаційні недоліки. Зокрема, відсутній механізм надійної фіксації клапанної пружини у стиснутому положенні, що знижує безпеку виконання робіт. Крім того, у процесі експлуатації одна з рук оператора постійно задіяна для утримання важеля, що ускладнює виконання допоміжних операцій та зменшує ергономічність процесу розбирання.

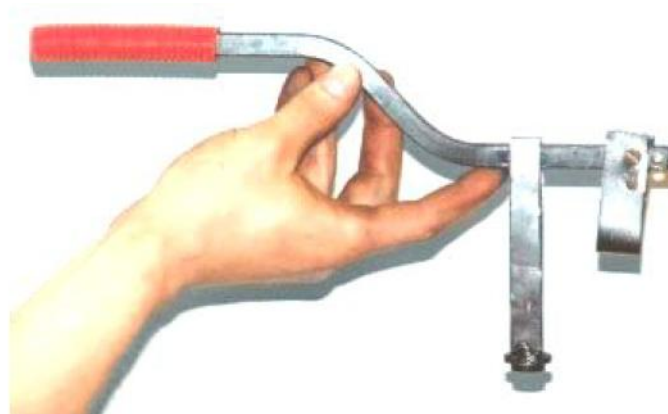


Рис. 3.4. Важільний пристрій для стискання клапанних пружин.

На рисунку 3.5 представлено пристрій, призначений для одночасного стискання всіх клапанних пружин головки блока циліндрів. Конструкція пристрою включає такі основні елементи: 1 – рукоятки, 2 – притискна планка, 3 – гайки, 4 – втулки, 5 – шпильки, 6 – основа, 7 – шайби.

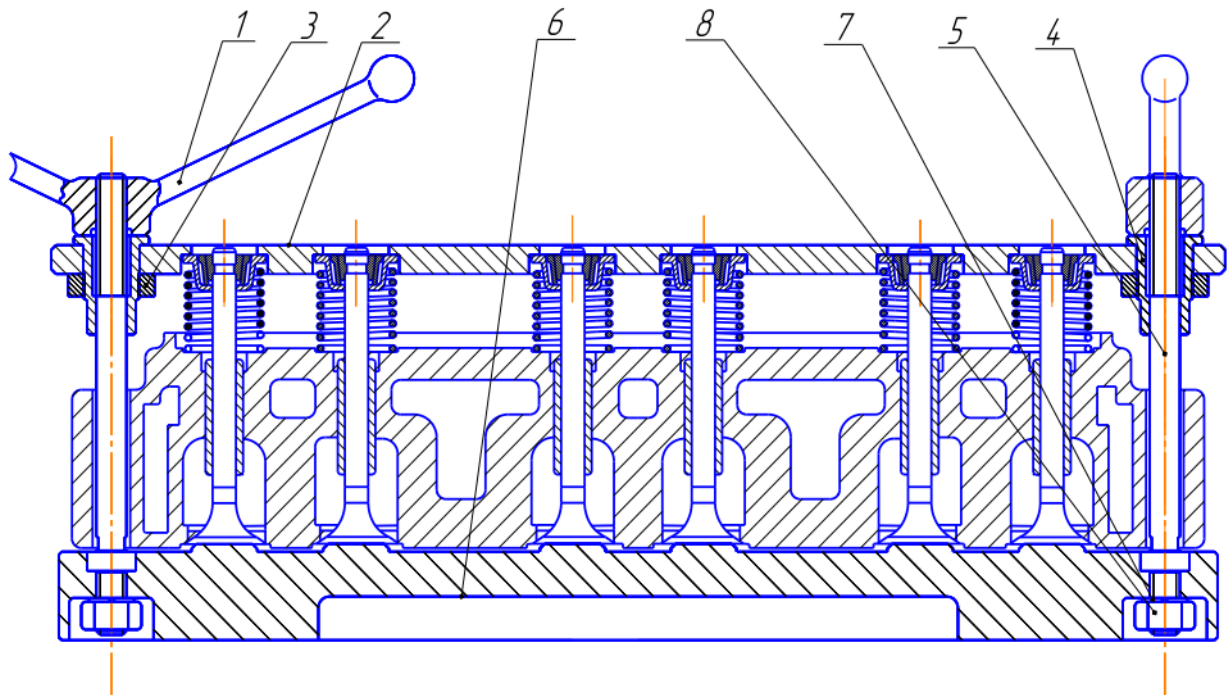


Рис. 3.5. Пристрій для одночасного стискання всіх клапанних пружин.

Принцип функціонування цього пристрою полягає в наступному. Спочатку основу встановлюють на рівну тверду поверхню, після чого знімають рукоятки та демонтують притискну планку. Далі головку блока циліндрів розміщують на основі таким чином, щоб отвори під шпильки співпали зі шпильками 5, закріпленими в основі пристрою. Після цього притискну планку повертають у робоче положення та за допомогою рукояток здійснюють осеве переміщення на величину близько 30 мм, забезпечуючи стискання клапанних пружин.

Після досягнення необхідного ступеня стискання виконують вилучення сухарів клапанів, далі рукоятки поступово відпускають і знімають притискну планку. На наступному етапі з головки блока циліндрів демонтують клапанні пружини, після чого головку знімають з пристрою та виймають клапани. Операції складання здійснюються у зворотній послідовності з використанням того ж пристосування.

Разом із тим, зазначений пристрій характеризується значними габаритами та масою, що обмежує можливості його застосування в умовах обмеженого робочого простору. Крім того, для його експлуатації та зберігання необхідне спеціально відведене місце, що знижує універсальність і мобільність даного технічного рішення.

3.3 Будова та принцип роботи пристрою для стискання клапанних пружин і вилучення сухарів

Розроблений пристрій для виконання операцій стискання клапанних пружин і знімання сухарів (рисунок 3.6) має просту та водночас жорстку просторову конструкцію, що забезпечує стабільність положення елементів під час роботи. Основу пристрою формують дві пластини трикутної форми: нижня пластина 1, яка виконує опорну функцію, та верхня пластина 2, призначена для сприйняття прикладеного зусилля.

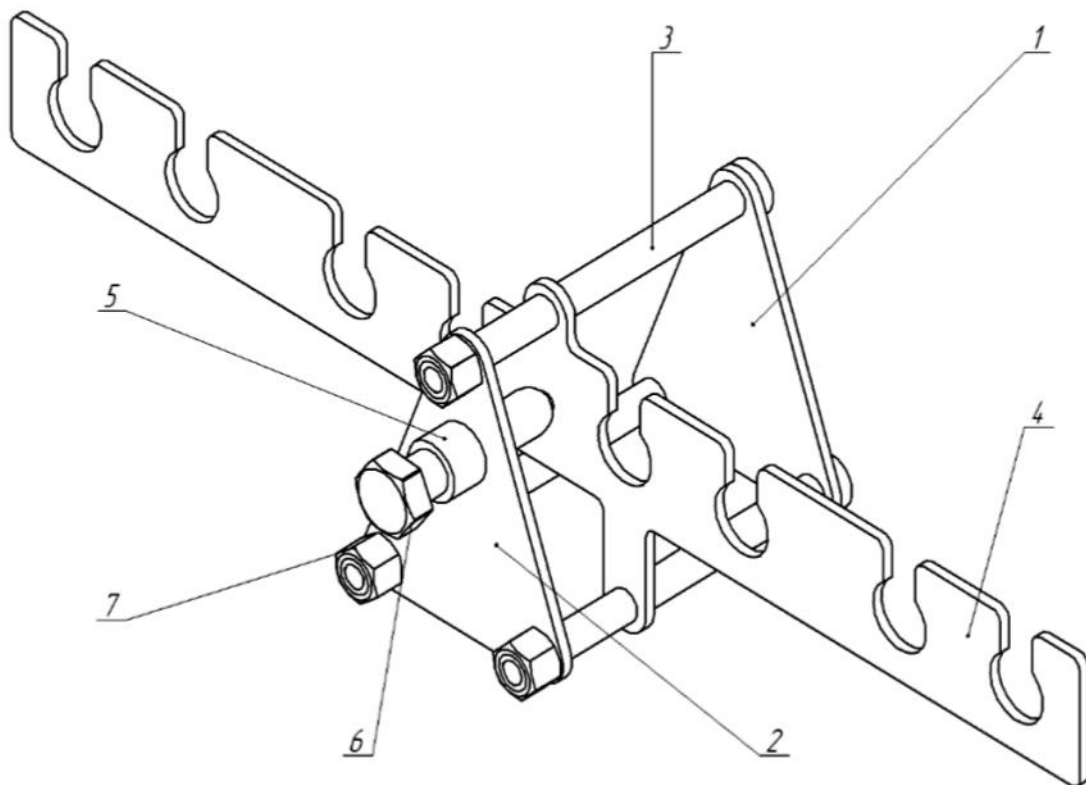


Рис. 3.6. Пристрій для одночасного стискання клапанних пружин.

Зазначені пластини з'єднані між собою трьома напрямними елементами 3, які забезпечують їх взаємне паралельне переміщення та виключають перекоси

під час навантаження. Уздовж цих напрямних між пластинами встановлена натискна плита 4, основним призначенням якої є передавання зусилля безпосередньо на пружини клапанного механізму.

У центральній частині верхньої пластини виконано технологічний отвір, над яким жорстко закріплена різьбова втулка 5. У цю втулку загвинчується натискний болт 6, за допомогою якого створюється контрольоване осьове зусилля. Під час обертання болта натискна плита переміщується вздовж напрямних у бік нижньої пластини, забезпечуючи рівномірне стискання клапанних пружин і створюючи умови для безпечного демонтажу або встановлення сухарів.

Експлуатація розробленого пристрою здійснюється у такій послідовності. Спочатку нижню плиту 1 разом із напрямними 3 встановлюють на горизонтальну жорстку основу (верстак, монтажний стіл або плиту). Далі головку блока циліндрів розміщують на напрямних елементах, забезпечуючи її правильне базування та стійке положення.

Після цього на напрямні встановлюють натискну плиту 4, контролюючи, щоб вона одночасно охоплювала всі тарілки клапанних пружин. Наступним етапом є монтаж верхньої плити 2, яку фіксують у заданому положенні за допомогою упорних гайок 7. Обертаючи натискний болт 6 за допомогою гайкового ключа або торцевої головки, натискну плиту поступово підводять до клапанних пружин, а при подальшому загвинчуванні болта здійснюють їх рівномірне стискання.

Після досягнення необхідного ступеня стискання виконують вилучення сухарів та демонтаж клапанних тарілок. Далі натискний болт 6 поступово відгвинчують, забезпечуючи контрольоване розтискання пружин. Після цього знімають упорні гайки 7, демонтують елементи пристрою та виймають із головки блока циліндрів пружини і клапани.

3.4 Розрахунок елементів пристрою на міцність

Аналізуючи конструктивну схему запропонованого пристрою, можна встановити, що до найбільш навантажених деталей належать різьбова втулка 5,

натискний болт 6 та упорні гайки 7, різьбові з'єднання яких сприймають зусилля переважно у вигляді напружень зрізу. Крім того, суттєве силове навантаження діє на натискну плиту 4, яка працює в умовах згину в зоні прикладання зусилля від натискного болта.

Для подальшого обґрунтування міцності конструкції розглянемо розрахункову схему навантаження натискної плити 4, подану на рисунку 3.7, з урахуванням характеру прикладених сил та геометричних параметрів елемента.

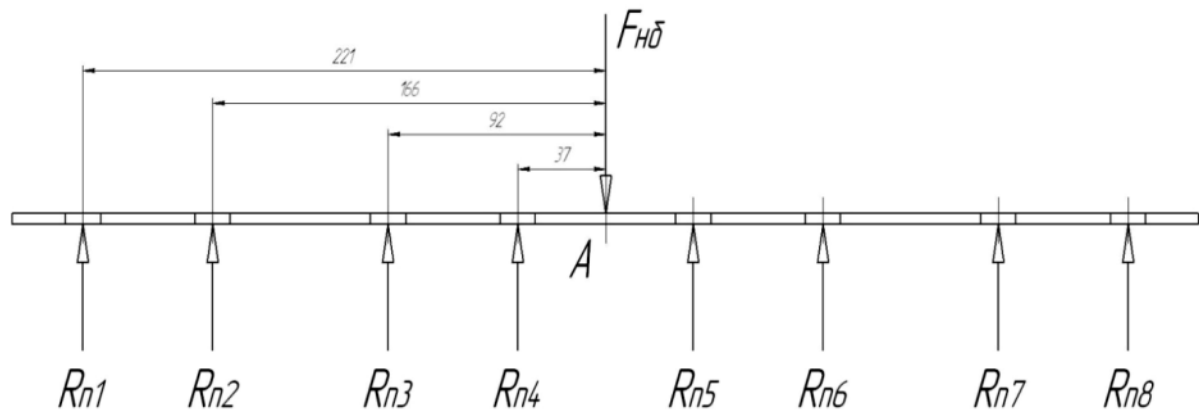


Рис. 3.7. Розрахункова схема силової взаємодії, що діють на натискну плиту.

F_{nb} — осьове зусилля, що створюється натискним болтом;

$R_{n1} \dots R_{n8}$ — реактивні сили, які виникають у клапанних пружинах під час їх стискання.

Враховуючи, що середнє зусилля стискання однієї клапанної пружини становить приблизно 200 Н, можна визначити характер та величину згинальних навантажень, які сприймає натискна плита під час роботи пристрою. Сумарна дія реактивних сил пружин формує згинаючі моменти у характерних перерізах плити, що потребує їх кількісного оцінювання з метою перевірки міцності елемента.

Розрахунок згинальних моментів виконуємо на основі розрахункової схеми, наведеної на рисунку 3.8, з урахуванням геометричного розташування сил, умов опирання натискної плити та симетрії навантаження від клапанних пружин.

Для спрощення подальшого аналізу натискну плиту доцільно умовно розділити на окремі ділянки, межами яких слугуватимуть точки прикладання зовнішніх сил і реакцій від клапанних пружин. Такий підхід дозволяє коректно визначити внутрішні силові фактори в характерних перерізах елемента.

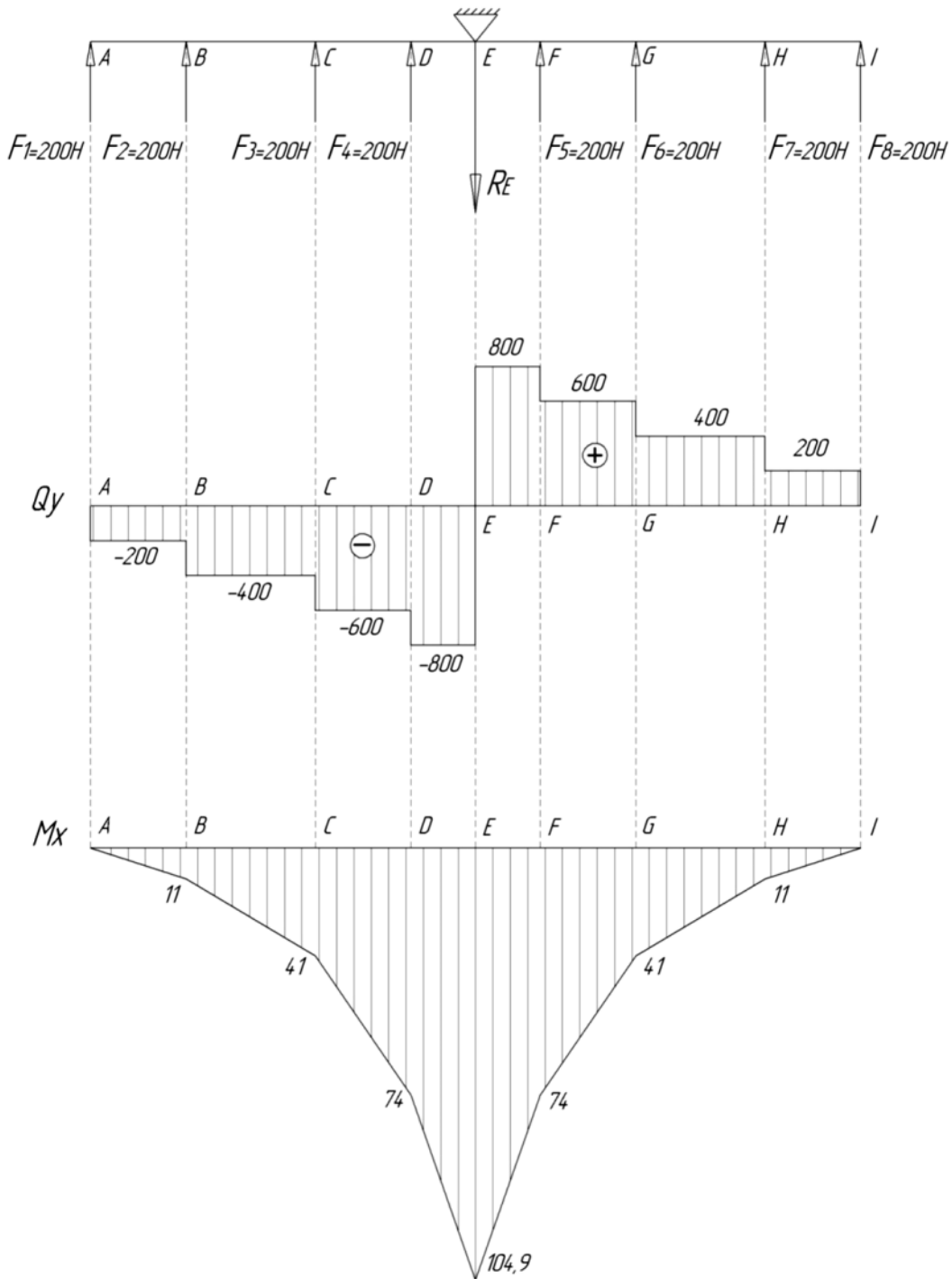


Рис. 3.8. Епюри поперечних зусиль і згинальних моментів, що виникають у натискній плиті.

Розглянемо ділянку плити між точками А і В. У межах цієї ділянки умовно проведемо січну площину, після чого праву частину плити виключимо з розгляду. Дію відкинутої частини замінимо внутрішніми силовими факторами – поперечною силою Q_y та згинальним реактивним моментом M_x , прикладеними в площині перерізу (рисунок 3.9).

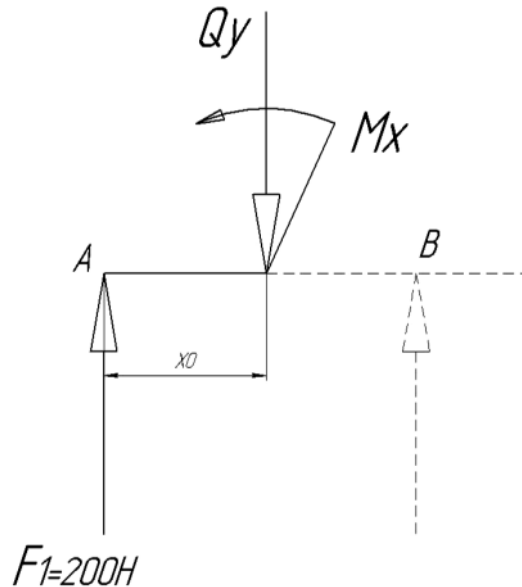


Рис. 3.9. Розрахункова модель ділянки А–В.

Для визначення внутрішніх силових факторів у вибраному перерізі натискної плити складемо рівняння рівноваги за проєкціями сил на вісь y . Сумарна дія зовнішніх сил на відрітку А–В має бути зрівноважена внутрішньою поперечною силою Q_y , що виникає у площині розрізу:

$$\sum Y = 0 \quad F_1 - Q_y = 0 \quad \text{звідки} \quad Q_y = F_1 \quad (3.6)$$

Для завершення аналізу напружено-деформованого стану ділянки А–В запишемо умову рівноваги за моментами відносно вибраної точки в площині перерізу

$$\sum m_x = 0 \quad F_1 x_0 - M_x = 0 \quad \text{звідки} \quad M_x = F_1 x_0 \quad (3.7)$$

Відомо, що числове значення поперечної сили в балковому елементі визначається величиною прикладеного навантаження і не залежить від відстані до точки його прикладання. З огляду на це, у межах ділянки А–В поперечна сила Q_y зберігає постійне значення і для даного випадку становить $Q_y = 200\text{H}$.

Натомість згинальний момент M_x має змінний характер і прямо пропорційний плечу дії сили. Уздовж відрізка А–В його величина зростає зі збільшенням координати x_0 : у точці А згинальний момент дорівнює нулю, тоді як у кінцевій точці В він досягає максимального значення, яке визначається добутком поперечної сили на відповідне плече дії навантаження.

Згинальний момент у розглянутому перерізі визначається як добуток прикладеної сили на плече її дії, тобто $M_x = F_1 \cdot x_0$. Для координати $x_0 = l_{AB} = 0,055\text{м}$ отримаємо числове значення згинального моменту: $M_x = 200 \cdot 0,055 = 11\text{Н}\cdot\text{м}$.

За аналогічною методикою виконують розрахунки для всіх наступних ділянок натискної плити, послідовно визначаючи величини внутрішніх силових факторів у характерних перерізах. На підставі отриманих результатів будуються епюри поперечних сил і згинальних моментів, які в узагальненому вигляді подані на рисунку 3.8.

Знаючи максимальне значення згинального моменту, що виникає в процесі роботи пристрою, можна обґрунтувати необхідну товщину натискної плити з метою недопущення її надмірного прогину та втрати працездатності. Для цього використовується класичне співвідношення опору матеріалів, яке пов'язує згинальний момент з геометричними параметрами перерізу та допустимими напруженнями матеріалу:

$$\sigma_3 = \frac{M_x}{W_0} \leq [\sigma_3] \quad (3.8)$$

де σ_3 – розрахункові напруження, що виникають у найбільш небезпечному перерізі натискної плити, МПа;

M_x – згинальний момент у критичному перерізі плити, Н·м;

W_0 – осьовий момент опору перерізу.

$[\sigma_3]$ – гранично допустимий рівень напружень для обраного матеріалу. Для сталі 35 після термічної обробки методом гартування допустиме значення приймається рівним $[\sigma_3] = 400\text{МПа}$.

Осьовий момент опору W_0 для перерізу прямокутної форми визначається за класичною залежністю опору матеріалів, яка враховує геометричні розміри перерізу та характеризує його здатність протидіяти згину

$$W_0 = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (3.9)$$

де b – геометрична ширина поперечного перерізу натискної плити, м;

h – висота (товщина) перерізу, м.

Скориставшись співвідношеннями (3.8) та (3.9) і прийнявши наперед задане значення ширини плити $b = 0,05\text{м}$, виконаємо розрахунок мінімально допустимої висоти h , за якої забезпечується міцність елемента при згині:

$$\sigma_z = \frac{M_x}{\frac{b \cdot h^2}{6}} \leq [\sigma_z] \quad (3.10)$$

Звідки:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot M_x}{[\sigma_{зг}] \cdot b}} \quad (3.11)$$

Отже маємо:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot 104,9}{400 \cdot 0,05}} = 5,58 \text{ мм.}$$

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що розрахункове мінімально допустиме значення товщини натискної плити становить 5,5 мм. З метою створення додаткового запасу міцності, а також з урахуванням можливих похибок виготовлення та експлуатаційних навантажень, доцільно прийняти конструктивну товщину плити рівною $h = 6\text{мм}$. Таке значення забезпечує надійну роботу елемента без виникнення небезпечних деформацій у процесі використання пристрою.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Матеріал і модель механічної поведінки

Для виготовлення головок блока циліндрів двигунів застосовується ливарний алюмінієвий сплав марки АЛ-4, який поєднує достатню міцність, теплопровідність і корозійну стійкість. Опис механічної поведінки цього матеріалу здійснюється з урахуванням впливу температури, а відповідні криві «напруження–деформація» сформовані на основі експериментальних досліджень.

У процесі термічної обробки, зокрема під час гартування, в тілі головки блока циліндрів формуються залишкові напруження. Після розчинювального нагріву до температури порядку 500 °С деталь піддається інтенсивному охолодженню до умов навколишнього середовища, що супроводжується значними температурними градієнтами по об'єму виробу. Як охолоджувальне середовище найчастіше використовується вода, оскільки вона забезпечує високу швидкість відведення тепла, проте саме це призводить до виникнення підвищених внутрішніх напружень у загартованій деталі.

Деформації термічного походження, що з'являються внаслідок температурних змін під час охолодження, можуть бути кількісно оцінені за відповідними залежностями:

$$\varepsilon = \alpha \Delta T \quad (4.1)$$

У наведених залежностях параметр α відображає здатність матеріалу змінювати лінійні розміри під дією температури та відповідає коефіцієнту теплового розширення, тоді як величина ΔT характеризує перепад температур, що формується в процесі теплового впливу. Оцінювання зміни температурного поля в об'ємі деталі під час гартування виконується шляхом розв'язання нестационарного рівняння теплопровідності Фур'є, яке дозволяє описати інтенсивність і напрямки теплового потоку в твердому тілі з урахуванням часової залежності процесу:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.2)$$

У рамках розглянутої математичної моделі параметр k характеризує інтенсивність теплопередачі в матеріалі, ρ визначає його масову щільність, а c відображає здатність матеріалу акумулювати теплову енергію. Напруження, що залишаються в тілі деталі після завершення термічної обробки, встановлюються шляхом опису деформаційного стану відповідно до узагальнених співвідношень закону Гука, застосованих окремо для кожної просторової координати

$$\sigma_{x,y,z} = \frac{E}{1+\nu} (\varepsilon_{x,y,z} + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)) \quad (4.3)$$

У поданих співвідношеннях величина E визначає жорсткість матеріалу та відповідає його модулю пружності, коефіцієнт ν відображає поперечну деформаційну реакцію й характеризує ефект Пуассона, тоді як σ описує компоненти залишкових напружень уздовж головних координатних осей x , y і z . Параметр ε задає рівень деформацій у відповідних напрямках. Для адекватного відтворення механічної поведінки матеріалу за межами пружної області в дослідженні застосовано нелінійний підхід, що поєднує ізотропне та кінематичне зміцнення. За умов переходу матеріалу в пластичний стан форма та положення поверхні текучості f визначаються відповідною математичною залежністю

$$f = \sqrt{\frac{3}{2} (S - X')(S - X')} - R - k = 0 \quad (4.4)$$

Тут S і X' характеризують відповідно девіаторні компоненти тензора напруженого стану та тензора кінематичних (зворотних) напружень. Параметр R описує еволюцію ізотропного зміцнення матеріалу в процесі навантаження, тоді як величина k визначає початкову межу текучості, тобто базовий розмір поверхні текучості в просторі напружень. Розрахунок тензора зворотних напружень виконується згідно з відповідною аналітичною залежністю:

$$\dot{X}_i = \frac{2}{3} C_i \dot{\varepsilon}_p - \gamma_i x_i \dot{p} + \frac{1}{c_i(T)} \frac{\partial c_i}{\partial T} X_i \dot{T} \quad (4.5)$$

У наведеній моделі параметри C та γ є матеріальними константами, що визначають характер еволюції напруженого стану під час пластичного деформування. Доданок $\gamma \dot{p}$, який інтерпретується як ефект динамічного відновлення, зумовлює нелінійний характер залежності між напруженнями та деформаціями. Сукупний тензор зворотних напружень формується як лінійна

суперпозиція окремих складових тензорів зворотних напружень, що описується відповідним аналітичним співвідношенням

$$X = \sum_{i=1}^m X_i \quad (4.6)$$

У межах прийнятого підходу позначення i використовується для ідентифікації числа окремих компонент тензора зворотних напружень, що входять до розрахункової схеми. Розвиток ізотропного зміцнення матеріалу, який характеризується параметром R , моделюється за допомогою спеціального закону еволюції, що враховує матеріальні коефіцієнти Q та b і відображає зміну опору пластичному деформуванню в міру зростання накопиченої пластичної деформації.

$$\dot{R} = b(Q - R)\dot{p} \quad (4.7)$$

4.2 Підходи до прогнозування термомеханічного ресурсу

Експлуатація головок блока циліндрів супроводжується інтенсивними температурними перепадами, зумовленими періодичними пусками і зупинками двигуна, а також зміною режимів навантаження під час руху автомобіля. Одночасний вплив теплових і силових навантажень у таких умовах формує специфічний вид пошкоджень – термомеханічну втоми (TMF), яка суттєво впливає на надійність і довговічність елементів двигуна. Оцінювання ресурсу головок блока циліндрів з урахуванням TMF нині є одним із пріоритетних напрямів досліджень у галузі двигунобудування та активно розглядається в сучасних наукових працях.

Розвиток пошкоджень за термомеханічної втоми відбувається за типовим для втомного руйнування сценарієм, що охоплює стадії формування мікропошкоджень, зародження втомних тріщин та їх поступове розповсюдження під дією змінних деформацій. Враховуючи значну частку пластичної складової деформацій у циклах навантаження, для кількісної оцінки довговічності доцільно застосовувати підхід, орієнтований на аналіз деформацій. У межах такого підходу ресурс матеріалу, виражений числом циклів до руйнування N_f , визначається за узагальненим рівнянням Коффіна–Менсона–Басквіна, яке є

загально визнаним інструментом прогнозування втомної довговічності за змінних термомеханічних впливів

$$\Delta \epsilon = \frac{\Delta \epsilon_e}{2} + \frac{\Delta \epsilon_p}{2} = \frac{\sigma'_f}{E} (2N_f)^b + \epsilon'_f (2N_f)^c \quad (4.8)$$

У межах розрахункових залежностей величина σ'_f використовується як узагальнений показник втомної міцності матеріалу, що визначає його здатність протидіяти циклічному руйнуванню. Параметр b задає характер зміни напружень у зоні високочастотної втоми, тоді як ϵ'_f відображає рівень пластичної деформаційної спроможності матеріалу за малоциклового навантаження. Коефіцієнт c описує швидкість деградації пластичної складової деформації зі збільшенням числа навантажувальних циклів.

Застосування рівняння Коффіна–Менсона–Басквіна в класичному вигляді є коректним лише за умов повністю симетричного циклу, коли середнє напруження в циклі дорівнює нулю. Однак експериментальні та розрахункові дослідження свідчать, що наявність ненульового середнього напруження істотно змінює втомну поведінку матеріалу, що особливо характерно для деталей двигунів внутрішнього згорання, які працюють у складних експлуатаційних режимах. Тому для підвищення достовірності прогнозу ресурсу необхідно вводити відповідні поправки, що враховують вплив середнього рівня напружень.

У сучасній інженерній практиці двигунобудування найбільш ефективними вважаються деформаційно-орієнтовані методики оцінювання втомної довговічності, які дозволяють коректно врахувати дію середніх напружень. Серед них найпоширенішими є підходи, засновані на рівняннях Сміта–Вотсона–Топпера та Морроу, які широко використовуються для аналізу ресурсу відповідальних елементів двигунів

$$E \epsilon_a \sigma_{n,max} = (\sigma'_f)^2 * (2N_f)^b + (E \sigma'_f \epsilon'_f) * (2N_f)^{b+c} \quad (4.9)$$

$$\Delta \epsilon = \frac{\Delta \epsilon_e}{2} + \frac{\Delta \epsilon_p}{2} = \frac{\sigma'_f \sigma_{mean}}{E} (2N_f)^b + \epsilon'_f (2N_f)^c \quad (4.10)$$

Тут ϵ_a відповідає амплітуді максимальної головної деформації, а $\sigma_{n,max}$ характеризує найбільше нормальне напруження, що діє в площині, перпендикулярній до напрямку максимальної головної деформації.

4.3 Скінченно-елементна модель та властивості матеріалів

Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) забезпечує високу точність і надійність оцінювання напружено-деформованого стану та прогнозування втомної довговічності головок блока циліндрів. Скінченно-елементний аналіз дає змогу на ранніх етапах проєктування виявляти потенційні конструктивні слабкі місця, а також глибше зрозуміти першопричини виникнення пошкоджень і руйнувань головок блока циліндрів у процесі експлуатації. Конструкції головок блока циліндрів, що розглядаються в даному дослідженні, наведені на рисунку 4.1.

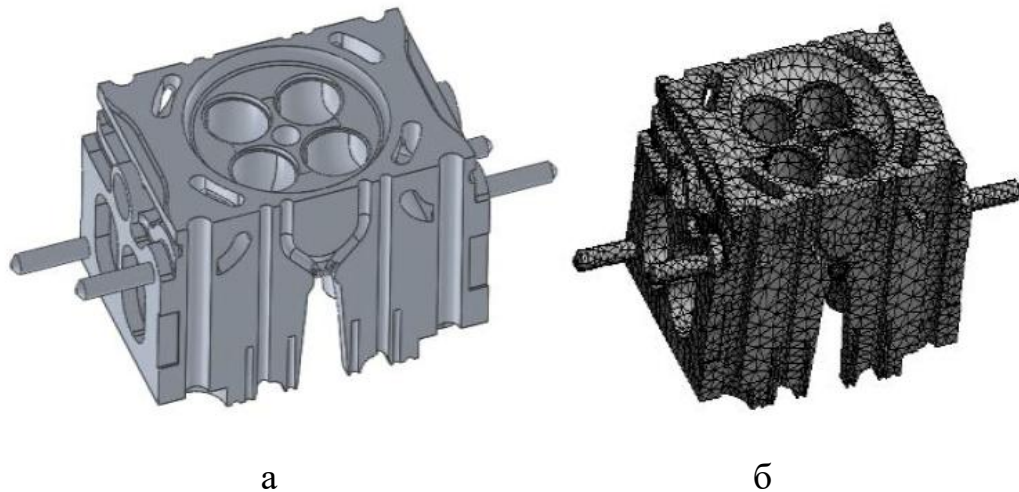


Рис. 4.1. Загальний вигляд цифрової моделі головки блока циліндрів:
а) параметрична тривимірна модель, побудована у CAD-середовищі SolidWorks;
б) дискретизована скінченно-елементна модель, використана для чисельного аналізу.

Конструктивні елементи головок блока циліндрів виготовляються з ливарного алюмінієвого сплаву, що характеризується порівняно невеликою жорсткістю та має модуль пружності на рівні близько 70 ГПа при коефіцієнті Пуассона 0,33. Водночас сідла клапанів виконані зі сталі, для якої притаманні значно вищі механічні характеристики: модуль Юнга становить приблизно 200 ГПа, а коефіцієнт Пуассона – близько 0,30. Контраст у властивостях цих матеріалів суттєво впливає на розподіл напружень у зонах контакту та обов’язково враховується під час побудови скінченно-елементної моделі.

4.4 Аналіз теплового стану

Для дослідження температурного режиму головки блока циліндрів використано чисельний тепловий аналіз на основі методу скінченних елементів. Умови роботи цього елемента двигуна визначаються переважно тепловими навантаженнями, які формуються під час функціонування силового агрегату в різних експлуатаційних режимах. Саме тому адекватне відтворення температурного поля є визначальним етапом у задачах оцінювання довговічності головки блока циліндрів, оскільки нерівномірність нагріву та наявність значних температурних перепадів безпосередньо впливають на рівень термічних і термомеханічних напружень.

Формування граничних теплових умов у розрахунковій моделі здійснювалося з урахуванням основних ділянок теплообміну, характерних для конструкції головки блока циліндрів. До них належать поверхні камери згоряння, впускні та випускні канали, зони контакту з моторною оливою, а також зовнішні поверхні, що віддають тепло навколишньому повітрю. Для області камери згоряння було задано температуру $959\text{ }^{\circ}\text{C}$ із коефіцієнтом тепловіддачі $1027\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Умови у впускному каналі моделювалися при температурі $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ та коефіцієнті конвекції $320\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, тоді як для випускного каналу прийнято температуру $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ і коефіцієнт тепловіддачі $640\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Ділянки, що контактують з мастильним середовищем, описувалися температурою $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ при коефіцієнті тепловіддачі $150\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Для поверхонь, охолоджуваних повітрям, було встановлено температуру $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ та коефіцієнт конвекції $60\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Результати розрахунку температурного поля головки блока циліндрів наведені на рисунку 4.2. Отримані дані свідчать, що характер розподілу температури суттєво впливає на оцінювання ресурсу деталі, оскільки дозволяє локалізувати найбільш теплово навантажені зони. Максимальні температури зафіксовані в області перемичок між випускними клапанами, що добре узгоджується з результатами інших досліджень у цій галузі.

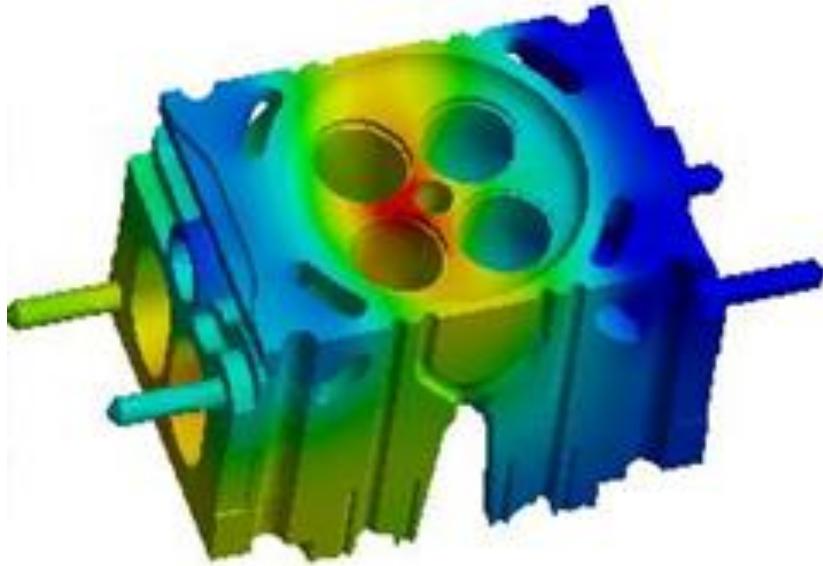


Рис. 4.2. просторовий розподіл температурного поля в об'ємі головки блока циліндрів за робочих теплових режимів.

На рисунку 4.3 показано зміну температурних градієнтів у зонах перемичок між двома випускними клапанами, а також між випускним і впускним клапанами. Порівняльний аналіз температурних кривих уздовж вибраних траєкторій демонструє, що вздовж траєкторії Path 1 спостерігається більш різка зміна температури, ніж уздовж Path 2. Максимальне значення температури в зоні перемички між двома випускними клапанами досягає близько 206 °С, що відповідає допустимому діапазону температур для алюмінієвих сплавів, які застосовуються у виробництві головок блока циліндрів.

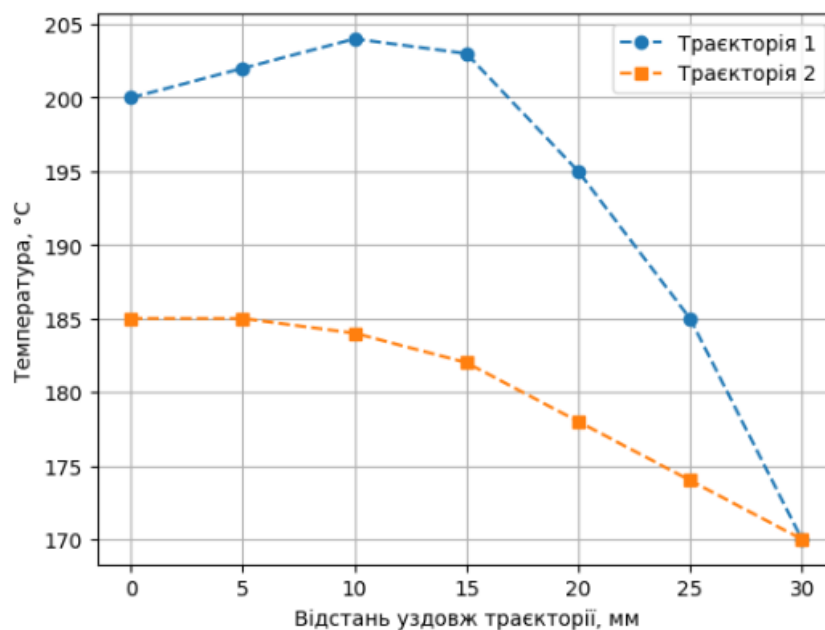


Рис. 4.3. карта температурних градієнтів у зоні перемичок між впускними та випускними клапанами, що є критичною з точки зору теплової навантаженості.

4.5 Дослідження напружено-деформованого стану

Під час роботи двигуна головка блока циліндрів функціонує в умовах одночасної дії силових навантажень і температурних впливів, що виникають через нерівномірний нагрів і охолодження в різних режимах експлуатації. За таких умов формування напруженого стану має складний характер, тому аналіз міцності головки блока циліндрів доцільно виконувати з урахуванням взаємодії механічних і теплових факторів. У межах термомеханічного розрахунку враховувалися основні експлуатаційні навантаження, зокрема тиск робочих газів у камері згоряння, зусилля попереднього затягування кріпильних болтів, температурні впливи, отримані за результатами теплового аналізу, а також напруження, що виникають під час встановлення сідел клапанів методом запресування.

На початковому етапі механічного аналізу в розрахункову модель було інтегровано результати температурного поля головки блока циліндрів, після чого до моделі прикладалися відповідні механічні навантаження. Подальший розрахунок здійснювався методом скінченних елементів із детальним аналізом отриманих результатів. При цьому приймалося припущення, що головка блока циліндрів жорстко закріплена на блоці двигуна, у зв'язку з чим у зонах отворів під кріпильні болти всі ступені вільності були обмежені. Відповідна схема граничних умов структурного аналізу наведена на рисунку 4.4, а розподіл еквівалентних напружень після завершення другого етапу розрахунку показано на рисунку 4.5.

Ключовим аспектом даного дослідження є оцінювання залишкових напружень у головках блока циліндрів, що працюють у режимі малоциклової втоми. Відомо, що залишковий напружений стан може суттєво змінювати умови зародження та розвитку втомних пошкоджень, а отже – істотно впливати на довговічність деталі. Тому підвищення точності визначення залишкових напружень є важливим завданням при прогнозуванні ресурсу головок блока циліндрів. Результати розрахунку еквівалентних напружень за критерієм Мізеса для випадку гартування, а також для комбінованого впливу гартування і подальшого термомеханічного навантаження наведені відповідно на рисунках

4.6 і 4.7. Згідно з даними, наведеними в роботах Erpolat та співавторів, максимальний рівень залишкових напружень у головці блока циліндрів зі сплаву А356.0 становить близько 86,3 МПа. Порівняльний аналіз показує добру відповідність між цими результатами та значеннями, отриманими в межах проведеного чисельного моделювання.

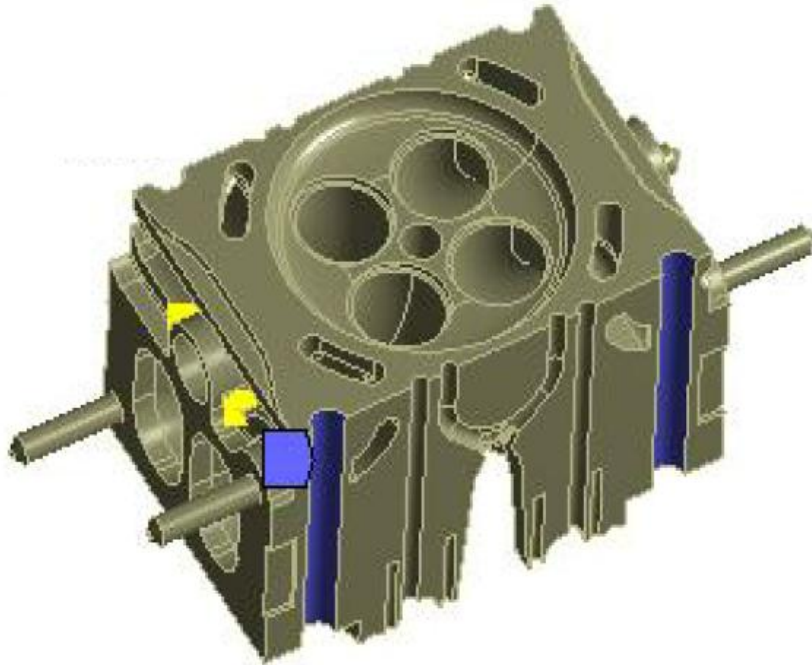


Рис. 4.4. розрахункова схема із заданими граничними умовами, закріпленнями та прикладеними навантаженнями.

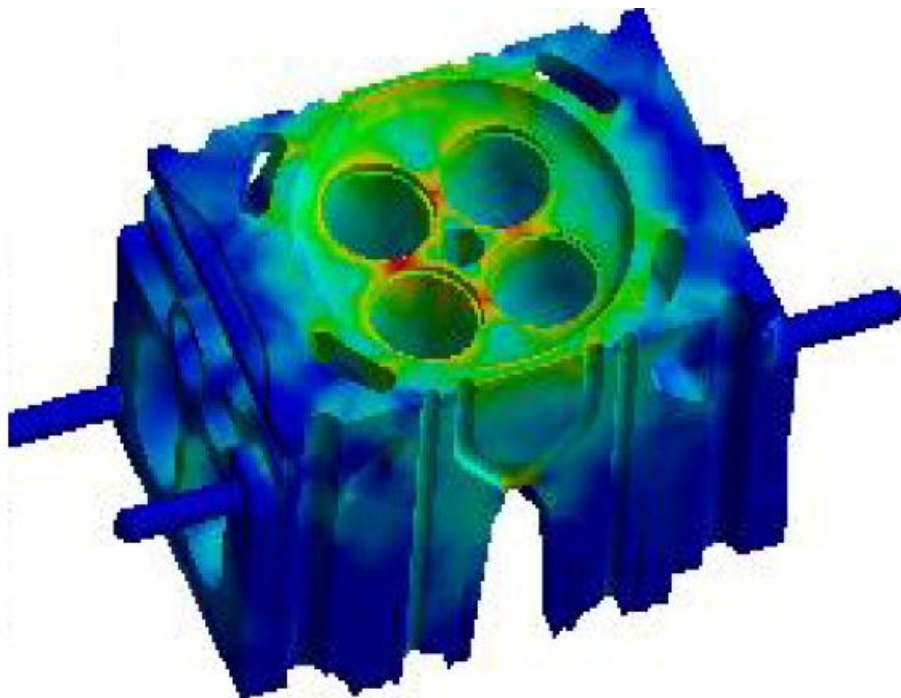


Рис. 4.5. результати чисельного аналізу у вигляді поля еквівалентних напружень за критерієм Мізеса в тілі головки блока циліндрів.

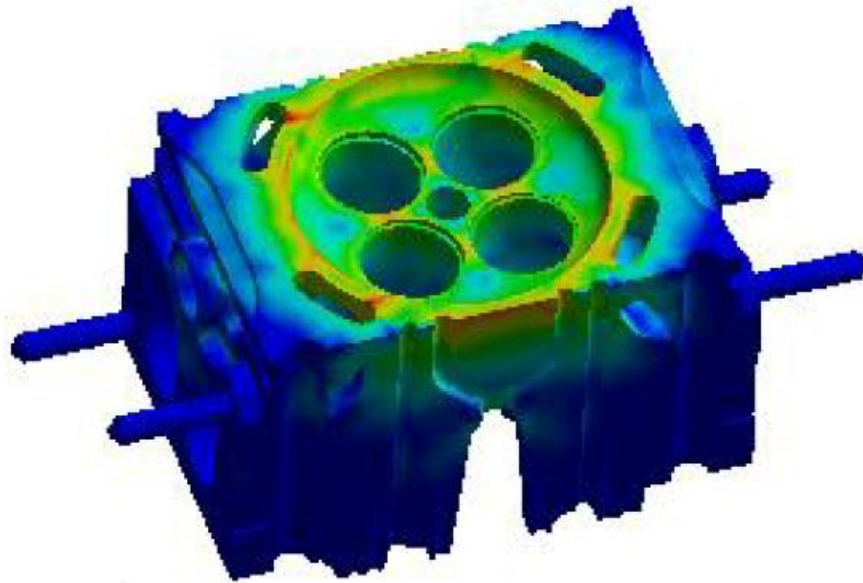


Рис. 4.6. розподіл еквівалентних напружень за Мізесом, сформованих у головці блока циліндрів після процесу гартування з урахуванням залишкового напруженого стану.

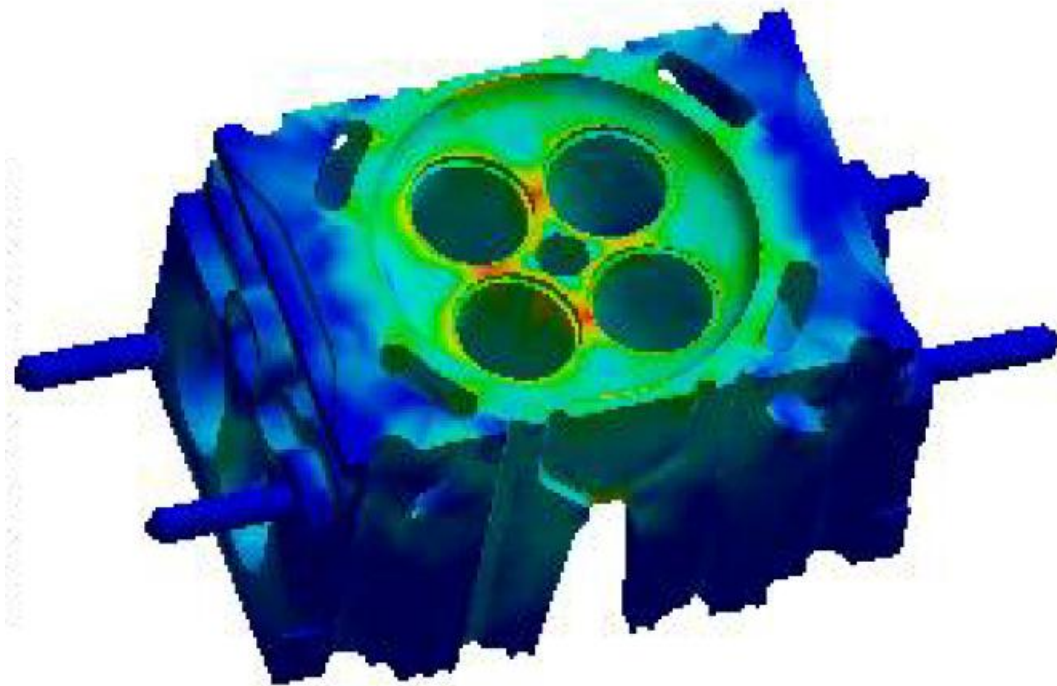


Рис. 4.7. просторове представлення залишкових напружень за Мізесом, що виникли внаслідок інтенсивного охолодження під час гартування.

З аналізу результатів, наведених на рисунку 4.6, випливає, що залишкові напруження істотно впливають на загальний напружено-деформований стан головки блока циліндрів, що підтверджує доцільність їх урахування в задачах скінченно-елементного аналізу. За умов багаторазових теплових циклів у матеріалі головки блока циліндрів відбувається накопичення термічних пластичних деформацій, які негативно впливають на втомну міцність і

прискорюють розвиток пошкоджень. Поле еквівалентних пластичних деформацій, отримане в результаті розрахунку, наведене на рисунку 4.8. Наявність ненульових значень цієї величини свідчить про локальний перехід матеріалу в пластичний стан.

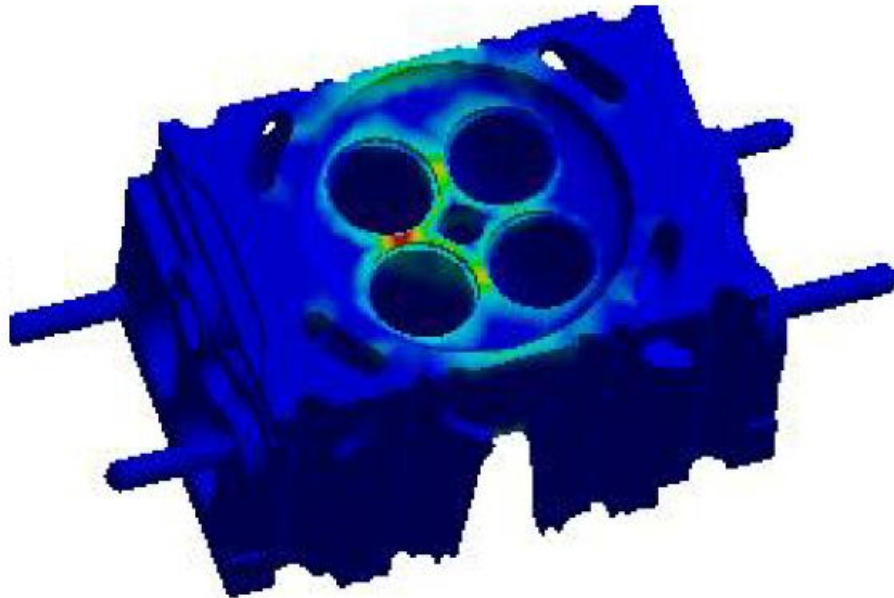


Рис. 4.8. поле еквівалентних пластичних деформацій, яке відображає локалізацію пластичного плину матеріалу.

Узагальнення результатів чисельного аналізу дозволяє встановити, що найбільші значення напружень і пластичних деформацій, які визначально впливають на прогнозування втомної довговічності, зосереджені в зоні перемички між двома випускними клапанами. Така локалізація критичних зон узгоджується з результатами попередніх досліджень і підтверджує їх достовірність.

4.6 Оцінювання довговічності за умов малоциклової втоми

Практика експлуатації двигунів внутрішнього згоряння свідчить, що одним із найбільш уразливих елементів є головка блока циліндрів, у якій втомні тріщини найчастіше зароджуються в області клапанних перемичок. Для цих зон характерне поєднання різних механізмів втомного пошкодження: високочастотна втома (HCF) формується під дією змінного тиску газів у камері згоряння, тоді як малоциклова втома (LCF) обумовлена повторюваними

пластичними деформаціями, що виникають унаслідок циклічних теплових і механічних навантажень під час роботи двигуна. Сукупний вплив цих факторів з часом призводить до ініціації та подальшого розвитку тріщин саме в найбільш термомеханічно навантажених ділянках.

Для зниження ймовірності таких пошкоджень і забезпечення необхідного ресурсу головок блока циліндрів доцільним є застосування підходів термомеханічної втоми, які дозволяють врахувати взаємодію температурних коливань і силових впливів у реальних умовах експлуатації. Результати розрахунку кількості циклів до руйнування з урахуванням залишкових напружень наведені на рисунках 4.9 – 4.12.

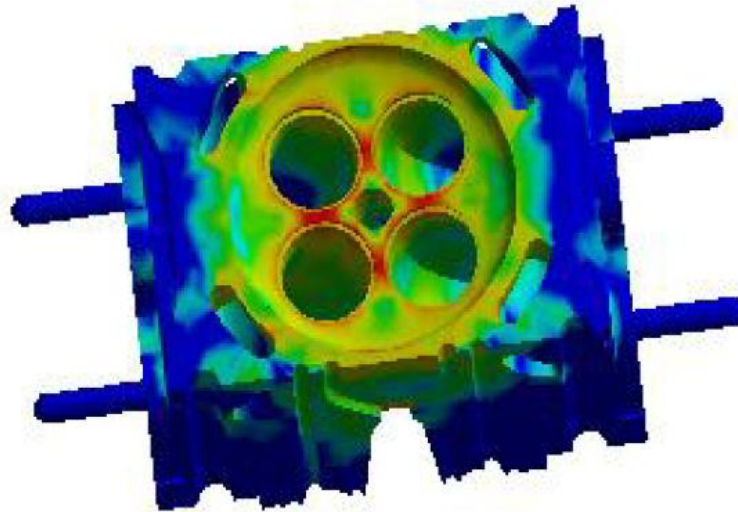


Рис. 4.9. оцінювання втомної довговічності у вигляді кількості циклів до руйнування, отримане за критерієм Сміта–Вотсона–Топпера.

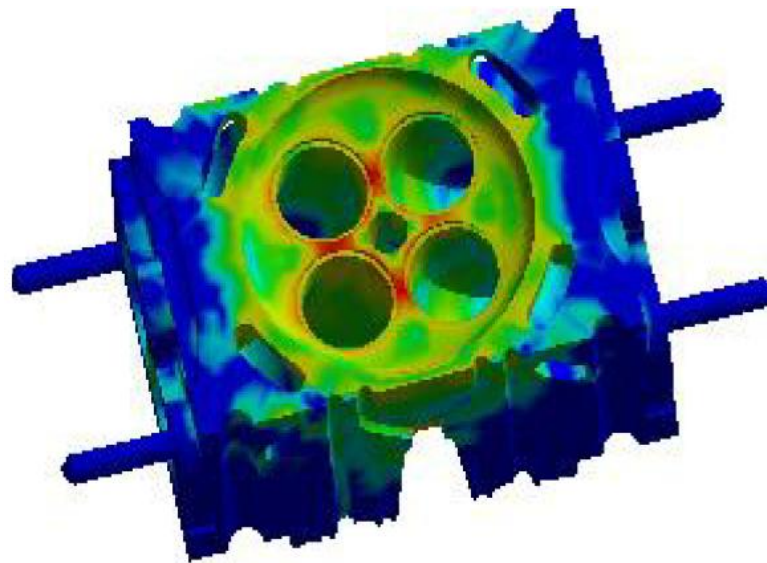


Рис. 4.10. прогноз ресурсу за кількістю циклів до відмови на основі рівняння SWT з урахуванням впливу залишкових напружень.

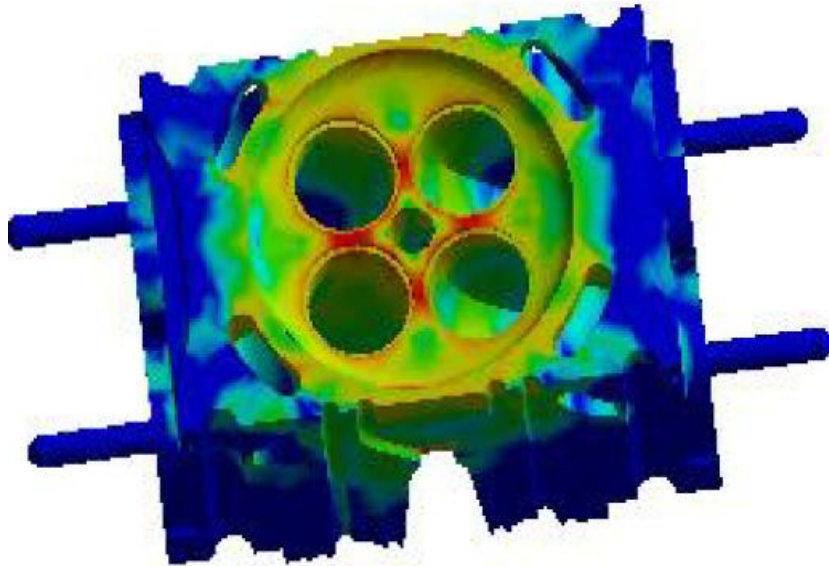


Рис. 4.11. розподіл прогнозованої довговічності головки блока циліндрів, визначений із використанням деформаційного підходу Морроу.

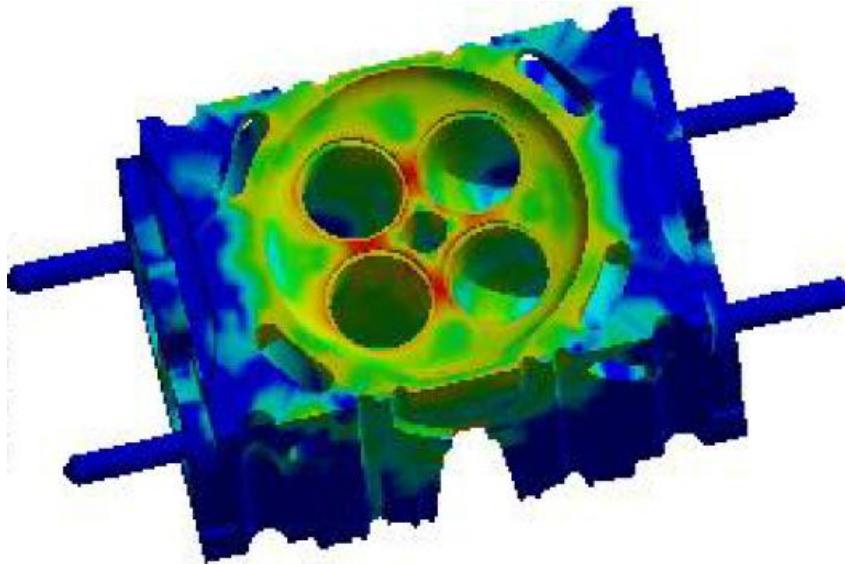


Рис. 4.12. результати розрахунку кількості циклів до руйнування за моделлю Морроу з урахуванням залишкового напруженого стану матеріалу.

Отримані результати (рис. 4.9 – 4.12) демонструють, що в критичних зонах головки блока циліндрів ресурс до відмови перебуває в діапазоні порядку 10^4 – 10^5 циклів, що є типовим для режиму малоциклової втоми. Проведений аналіз також показав, що залишкові напруження істотно знижують втомну довговічність: приблизно на 14 % при використанні моделі Морроу та близько на 15 % за критерієм SWT. Це підтверджує вагомий вплив залишкового напруженого стану на розвиток малоциклової втоми та необхідність його обов'язкового врахування в термомеханічних розрахунках головок блока циліндрів.

Аналіз експериментальних даних свідчить, що тріщини локалізуються в області перемички між двома випускними клапанами, що повністю узгоджується з результатами чисельного моделювання (рис. 4.7). Узагальнення результатів, поданих на рисунках 4.2 – 4.12, підтверджує високу кореляцію між скінченно-елементним аналізом, прогнозом малоциклової довговічності та експериментальними спостереженнями, а також вказує на те, що ініціація руйнування головки блока циліндрів відбувається саме в цій критичній зоні.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз виробничого травматизму

Системне дослідження виробничого травматизму та професійної захворюваності є важливою складовою управління охороною праці, оскільки дає змогу ідентифікувати першопричини небезпечних подій, встановити причинно-наслідкові зв'язки та виявити характерні тенденції їх виникнення. Результати такого аналізу слугують науково обґрунтованою основою для розроблення профілактичних заходів, спрямованих на зниження рівня травматизму та поліпшення умов праці. Причини нещасних випадків і професійних захворювань у виробничому середовищі доцільно класифікувати за кількома основними групами: технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та психофізіологічні.

До технічних причин належать конструктивні недоліки машин, механізмів і устаткування, невідповідність або застарілість технологічних процесів, низька надійність виробничих засобів та інструменту, а також відсутність або недостатня ефективність захисних огорожень, блокувальних пристроїв, систем сигналізації та інших технічних засобів безпеки.

Організаційні чинники пов'язані з недотриманням вимог законодавчих і нормативно-правових актів з охорони праці, формальним або неякісним проведенням навчання та інструктажів, недостатньою професійною підготовкою працівників, порушенням технологічної дисципліни. Сюди також відносять використання обладнання не за призначенням, експлуатацію несправних машин і механізмів, ігнорування вимог планово-попереджувальних ремонтів, а також неналежний контроль за виконанням робіт підвищеної небезпеки.

До санітарно-гігієнічних причин належать несприятливі параметри мікроклімату, перевищення допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони, недостатній або неправильно організований рівень освітлення, підвищені показники шуму та вібрації, а також недотримання працівниками вимог особистої гігієни.

Психофізіологічні фактори пов'язані з індивідуальними особливостями працівника та умовами виконання трудових операцій. До них відносять

невідповідність психофізіологічних або антропометричних характеристик працівника виконуваній роботі, погіршення стану здоров'я, помилкові дії, спричинені втомою, неуважністю, емоційною напругою або монотонністю трудового процесу.

Для вивчення та оцінювання рівня виробничого травматизму застосовують комплекс методів, які умовно поділяють на статистичні та технічні.

Статистичні методи базуються на опрацюванні та узагальненні офіційних матеріалів обліку нещасних випадків, накопичених на підприємстві або в галузі (акти за формами Н-1, Н-5, повідомлення за формою Н-2, звітність за формою 7-тнв тощо). Застосування цього підходу дозволяє групувати нещасні випадки за ознаками однорідності (стать, вік, професія, стаж роботи, час і місце події, вид обладнання, характер травм) та визначати узагальнені кількісні й якісні показники травматизму. До основних кількісних показників належить коефіцієнт частоти травматизму $K_{\text{ч}}$, який обчислюють за певний період (зазвичай за рік) у розрахунку на 1000 працюючих:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1000 \cdot p}{R},$$

де p – кількість нещасних випадків із втратою працездатності на один і більше днів за звітний період;

R – середньооблікова чисельність працівників.

Якісною характеристикою є коефіцієнт важкості травматизму $K_{\text{в}}$, який відображає середню тривалість втрати працездатності одним потерпілим:

$$K_{\text{в}} = \frac{D}{p},$$

де D – сумарна кількість днів непрацездатності потерпілих.

Аналіз зазначених коефіцієнтів дає змогу оцінювати динаміку травматизму, порівнювати рівень безпеки на різних підприємствах і формувати висновки щодо професійного ризику виробничої діяльності.

До технічних методів аналізу належать монографічний, топографічний, економічний та інші підходи. Найбільш інформативним є монографічний метод, який передбачає детальне та всебічне дослідження конкретного нещасного випадку з урахуванням умов праці, особливостей технологічного процесу, стану

обладнання, організації робочого місця, застосовуваних засобів колективного та індивідуального захисту, а також санітарно-гігієнічних параметрів виробничого середовища.

У межах цього методу можуть виконуватися вимірювання параметрів мікроклімату, рівнів освітленості, шуму, вібрації, запиленості та загазованості повітря, а також випробування обладнання. Перевагою монографічного підходу є можливість не лише аналізувати вже наявні нещасні випадки, а й своєчасно виявляти потенційно небезпечні чинники. Отримані результати використовуються для розроблення превентивних заходів з охорони праці, удосконалення технологічних процесів і коригування чинної нормативної бази.

Топографічний підхід до аналізу виробничого травматизму ґрунтується на просторовому вивченні нещасних випадків залежно від місця їх виникнення. Для цього всі зафіксовані події з використанням умовних графічних позначень систематично наносять на плани підприємства, окремих цехів або виробничих ділянок. Така візуалізація дозволяє чітко ідентифікувати зони з підвищеним рівнем небезпеки, у межах яких спостерігається найбільша концентрація травмонебезпечних ситуацій. На основі отриманих даних визначають пріоритетні ділянки для поглибленого аналізу умов праці, оцінювання технічного стану обладнання та організації виробничих процесів, а також для впровадження адресних профілактичних заходів.

Економічні методи аналізу передбачають кількісну оцінку втрат, пов'язаних із виробничим травматизмом і професійними захворюваннями, та їх порівняння з витратами на планування і реалізацію заходів з охорони праці. До таких втрат відносять прямі та непрямі збитки, зумовлені тимчасовою або стійкою втратою працездатності, простоєм обладнання, зниженням продуктивності праці та додатковими витратами на лікування і соціальні виплати. Застосування економічного підходу дає змогу обґрунтувати доцільність інвестицій у безпеку праці, визначити найбільш ефективні напрями використання фінансових ресурсів і приймати оптимальні управлінські рішення щодо підвищення рівня охорони праці на підприємстві.

5.2 Способи захисту населення в надзвичайних ситуаціях

Організація та реалізація заходів із захисту населення в умовах надзвичайних ситуацій (НС) здійснюються відповідно до положень Конституції України, Кодексу цивільного захисту України, профільних законів та інших чинних нормативно-правових актів. Зазначена діяльність є складовою державної політики у сфері безпеки життєдіяльності та спрямована на збереження життя, здоров'я і майна громадян.

Координація та практичне виконання завдань у сфері захисту населення в НС покладаються на Єдину державну систему цивільного захисту України (ЄДСЦЗ), яка забезпечує функціонування сил і засобів цивільного захисту на державному, регіональному та місцевому рівнях.

Планування заходів цивільного захисту здійснюється з урахуванням можливих джерел небезпеки, які умовно поділяють на дві групи.

До зовнішніх загроз належать наслідки воєнних дій, локальних збройних конфліктів, а також масштабних техногенних чи екологічних катастроф, що можуть виникати за межами держави, але впливати на її територію.

Внутрішні загрози зумовлені стихійними лихами, аваріями та катастрофами техногенного характеру, а також надзвичайними подіями, спричиненими терористичною діяльністю всередині країни.

Основні напрями цивільного захисту населення і територій у разі виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження включають:

- реалізацію комплексу заходів, спрямованих на недопущення виникнення надзвичайних ситуацій;

- забезпечення постійної готовності системи цивільного захисту до своєчасного та ефективного реагування на надзвичайні події.

Під запобіганням надзвичайним ситуаціям розуміють цілеспрямовану підготовку та впровадження сукупності правових, соціально-економічних, організаційних, інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на зниження рівня техногенної й природної небезпеки та мінімізацію імовірності виникнення аварій і катастроф.

Реагування на надзвичайні ситуації охоплює узгоджені дії органів управління, сил цивільного захисту та інших залучених суб'єктів, спрямовані на локалізацію та ліквідацію наслідків аварій чи катастроф з урахуванням конкретного виду та рівня НС. До таких дій належать проведення аварійно-рятувальних і невідкладних робіт, надання екстреної допомоги потерпілим, а також усунення загроз життю та здоров'ю населення.

Система захисту населення в надзвичайних ситуаціях базується на низці фундаментальних принципів, серед яких:

- гарантоване державою забезпечення конституційних прав громадян на захист життя, здоров'я і власності;

- комплексність у вирішенні завдань цивільного захисту з урахуванням усіх можливих чинників ризику;

- пріоритетність заходів, спрямованих на порятунок людей і збереження їхнього здоров'я;

- максимально можливе та економічно обґрунтоване зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій;

- централізоване управління, єдиноначальність і чітка підпорядкованість у діяльності сил цивільного захисту та аварійно-рятувальних служб;

- відкритість і доступність інформації щодо стану цивільного захисту, за винятком випадків, визначених законодавством;

- добровільний характер залучення громадян до заходів цивільного захисту, пов'язаних із ризиком для їхнього життя і здоров'я;

- персональна відповідальність посадових осіб органів державної влади та місцевого самоврядування за виконання вимог законодавства у сфері цивільного захисту;

- принцип виправданого ризику та відповідальність керівників сил цивільного захисту за безпеку під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

Громадяни України у сфері захисту від надзвичайних ситуацій наділені визначеним законодавством комплексом прав, реалізація яких спрямована на забезпечення безпеки життя, збереження здоров'я та захист майнових інтересів у разі виникнення небезпечних подій.

Зокрема, громадяни мають право на своєчасне та достовірне інформування про надзвичайні ситуації, а також про потенційні загрози їх виникнення. Така інформація повинна надаватися у формах, доступних для всіх категорій населення, у тому числі для осіб з порушеннями зору та слуху.

Важливим правом є забезпечення населення засобами колективного й індивідуального захисту, а також створення умов для їх правильного та безпечного використання відповідно до характеру надзвичайної ситуації.

Громадяни мають можливість звертатися до органів державної влади та органів місцевого самоврядування з питань, що стосуються захисту від надзвичайних ситуацій, отримання роз'яснень, допомоги або сприяння у реалізації заходів цивільного захисту.

Законодавством також передбачено право добровільної участі громадян у заходах із запобігання виникненню надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків у складі добровільних формувань цивільного захисту. У разі залучення до таких робіт на підставі трудових договорів гарантується виплата заробітної плати відповідно до встановлених умов.

Окреме місце займає право на соціальний захист і компенсацію шкоди, заподіяної життю, здоров'ю або майну громадян унаслідок надзвичайних ситуацій чи під час виконання робіт із їх запобігання та ліквідації, у порядку, визначеному чинним законодавством.

Крім того, у разі отримання фізичних або психологічних травм громадянам гарантується надання необхідної медичної допомоги, соціально-психологічної підтримки та проведення заходів медико-психологічної реабілітації, спрямованих на відновлення їхнього фізичного та психоемоційного стану.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра на тему «Проектування технічного обслуговування та відновлення головки блока циліндрів двигуна Audi A5 з дослідженням довговічності головки блока циліндрів» виконано комплексне інженерно-наукове дослідження, спрямоване на підвищення ресурсу та надійності одного з найбільш навантажених елементів двигуна внутрішнього згоряння — головки блока циліндрів

У процесі виконання роботи проаналізовано умови функціонування головки блока циліндрів двигуна Audi A5, встановлено характерні експлуатаційні навантаження та систематизовано основні види дефектів, що виникають унаслідок теплових, механічних і газодинамічних впливів. Обґрунтовано, що саме ці дефекти суттєво впливають на довговічність деталі та загальний ресурс двигуна.

У загально-технічному розділі визначено вимоги до дефектації головки блока циліндрів і наведено сучасні методи виявлення пошкоджень, що дозволяють об'єктивно оцінити її технічний стан. Сформовано карту дефектації та розроблено декілька маршрутів відновлення деталі з урахуванням реальних умов експлуатації. Обґрунтовано вибір маршруту відновлення №1 як найбільш доцільного з технічної та економічної точок зору.

У технологічному розділі розроблено детальний технологічний процес відновлення головки блока циліндрів двигуна Audi A5, який включає операції механічної обробки, аргондугового зварювання, дугової металізації, шліфування, відновлення різьбових з'єднань і контроль якості. Для кожної операції визначено режими обробки, підібрано обладнання та інструмент, а також виконано нормування часу. Отримана сумарна трудомісткість процесу підтверджує технологічну здійсненність і раціональність запропонованого маршруту відновлення.

У конструкторському розділі спроектовано спеціалізовані пристрої для демонтажу головки блока циліндрів та для одночасного стискання клапанних пружин і знімання сухарів. Виконано розрахунки основних елементів конструкцій на міцність і жорсткість, що підтвердило їх працездатність та

безпеку у процесі експлуатації. Запропоновані пристрої дозволяють зменшити трудомісткість ремонтних операцій, підвищити їх ергономічність і знизити ризик пошкодження деталей.

У науково-дослідному розділі проведено аналіз впливу відновлювальних технологій на довговічність головки блока циліндрів. Отримані результати підтверджують, що застосування обґрунтованих технологічних рішень дає змогу відновити експлуатаційні характеристики деталі до рівня, близького до початкового, та забезпечити подальшу надійну роботу двигуна.

У розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для процесів відновлення головки блока циліндрів. Запропоновано комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці та мінімізацію виробничих ризиків.

Загалом кваліфікаційна робота є завершеним науково-технічним дослідженням, у якому поставлені завдання виконано в повному обсязі, а отримані результати мають практичну цінність для ремонтних підприємств і станцій технічного обслуговування. Запропоновані технологічні та конструкторські рішення можуть бути рекомендовані до впровадження у виробничу практику з метою підвищення ефективності відновлення головок блока циліндрів сучасних автомобільних двигунів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Коноваленко О.Д., Черниш А.А. Ідентифікація транспортних засобів: навчальний посібник. – Харків: Мадрид, 2020. – 259 с.
3. Кошель С. О., Березін Л. М., Кошель Г. В. Технічна механіка. Розділ "Теорія механізмів і машин" -Центр навчальної літератури (ЦУЛ) 2020 – 156 с.
4. Кисликов В.Ф., В.В. Лущик Будова і експлуатація автомобілів. Підручник - Либідь м.Київ, 2018 – 400с.
5. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
6. Н. Ashouri, "Evaluation of quenching process on low cycle fatigue life for cylinder head," Automotive Science and Engineering, vol. 12, no. 4, pp. 3971–3979, 2022, doi: 10.22068/ase.2022.613.
7. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
8. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
9. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.
10. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
11. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
12. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту

автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є.

Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.

13. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.

14. Курніков І. П. Технологічне проектування підприємств автомобільного транспорту : навчальний посібник / І. П. Курніков, М. К. Корольов, В. М. Токаренко. – К. : Вища школа, 1993. – 191 с.

15. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.

16. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.

17. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.

18. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.

19. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

20. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.

21. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108.

22. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

23. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. С.А. Дикань, О.Є. Зима. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 273 с.: табл., іл.